L'Ipotesi Solutriana del popolamento americano

Una monografia critica interdisciplinare

INTRODUZIONE GENERALE

Il problema e la sua struttura epistemica

Ci sono ipotesi scientifiche che la comunità accademica non confuta: le archivia. Non perché siano prive di contenuto empirico verificabile — anzi, alcune di esse avanzano previsioni falsificabili con una precisione che la scienza ordinaria raramente raggiunge — ma perché il loro contenuto è diventato indistinguibile, nella percezione collettiva della disciplina, dalla tradizione pseudoscientifica con cui condividono il territorio del discorso marginale. La vicinanza geografica a teorie irresponsabili è sufficiente, in certe comunità accademiche, a produrre una contaminazione retroattiva: non si risponde, si ignora; non si confuta, si archivia. L'ipotesi solutriana del popolamento americano appartiene a questa categoria difficile, e il compito di questa monografia è di trarla da quella categoria senza né abbracciarla acriticamente né liquidarla per contigüità con le fantasie degli iperdiffusionisti del Novecento o con le speculazioni dei divulgatori televisivi che l'hanno resa, nella sua versione più rozza, un oggetto di consumo popolare.

Il nucleo argomentativo dell'ipotesi — formulato nella versione più sistematica da Dennis Stanford, curatore del National Museum of Natural History della Smithsonian Institution, e da Bruce Bradley, tecnologo litico dell'Università di Exeter, nel volume *Across Atlantic Ice: The Origin of America's Clovis Culture* (University of California Press, 2012), ma con anticipazioni importanti negli articoli degli stessi autori del 1999 e del 2002 — è il seguente: i primi esseri umani a raggiungere il continente americano, o almeno una componente significativa tra i primissimi colonizzatori, non provenivano dall'Asia nordorientale attraverso il corridoio terrestre della Beringia, ma dall'Europa sudoccidentale — più precisamente dall'area franco-cantabrica della cultura solutriana, databile tra ca. 23.000 e 17.000 anni prima del presente in forma calibrata — navigando o migrando progressivamente lungo il margine meridionale della calotta glaciale atlantica durante l'Ultimo Massimo Glaciale, quando la banchisa si estendeva verso sud fino alle latitudini della penisola iberica, creando un corridoio di ghiaccio marino e di acque marginali ricche di fauna che avrebbe potuto funzionare da autostrada ecologica per cacciatori marini specializzati.

Se dimostrata, questa tesi avrebbe implicazioni che andrebbero ben oltre la preistoria americana: implicherebbe che cacciatori-raccoglitori del Paleolitico superiore europeo — uomini anatomicamente moderni del tutto simili a noi, con arte rupestre sofisticata e tecnologia litica di altissima qualità, ma senza ceramica, senza agricoltura, senza animali domestici — avessero attraversato o costeggiato l'oceano Atlantico settentrionale almeno 17.000 anni prima che i Vichinghi raggiungessero l'America nel 1000 d.C. e circa 20.000 anni prima di Colombo. Richiederebbe di riscrivere non solo la narrativa del popolamento delle Americhe ma anche la valutazione delle capacità cognitive, tecnologiche e organizzative dei cacciatori del Paleolitico europeo, che la ricerca tradizionale ha sempre confinato in un orizzonte continentale.

La reazione della comunità degli americanisti a questa ipotesi è stata di rigetto pressoché unanime. Ciò che merita riflessione, a un esame ravvicinato, è la struttura di questo rigetto: esso combina, in proporzioni variabili a seconda degli autori e dei momenti del dibattito, confutazioni empiriche genuine con argomenti ad hominem, con la dismissione per contiguità con ipotesi già screditate, e con silenzi che hanno il carattere dell'evitamento strategico piuttosto che della risposta scientifica. Lawrence Straus, il più eminente specialista vivente del Solutreano, ha dedicato tre articoli all'ipotesi solutriana (2000, 2003, 2011) con una qualità argomentativa variabile: il primo è una risposta sistematica ai paralleli tecno-morfologici proposti da Stanford e

Bradley; il terzo è un testo che si avvicina alla dismissione ideologica più che alla confutazione empirica. David Meltzer, il principale critico americanista, ha scritto pagine acute sul problema del falso consenso nel dibattito sul popolamento ma non ha mai pubblicato un'analisi statistica formale delle previsioni dell'ipotesi solutriana confrontate con i dati disponibili.

Questa monografia si propone di scomporre quella miscela eterogenea. Il suo obiettivo non è stabilire se l'ipotesi solutriana sia vera — lo stato dell'evidenza empirica disponibile, come si mostrerà, non è sufficiente per farlo con il grado di certezza che il problema richiederebbe — ma di determinare con precisione quale sia la struttura epistemica dell'ipotesi, quale parte dell'evidenza disponibile la sostenga o la indebolisca, con quale margine quantitativo, e quale sia la distanza che separa lo stato attuale dell'evidenza dalla soglia necessaria per una accettazione o confutazione formale. Si tratta, in altri termini, di fare ciò che la letteratura specialistica ha fatto solo parzialmente e spesso con scarsa chiarezza metodologica: valutare l'ipotesi solutriana con gli stessi strumenti critici che si applicano a qualsiasi altra ipotesi scientifica controversa.

Il contesto storiografico: la nascita e il consolidamento del paradigma beringiano

Nessun'analisi seria dell'ipotesi solutriana può fare a meno di ricostruire, con la necessaria precisione storica, la genesi e il consolidamento del paradigma dominante che essa sfida — il modello beringiano del popolamento delle Americhe — perché la forza di una tesi alternativa si misura anche in relazione alla solidità di ciò che propone di sostituire o integrare, e perché la storia del paradigma beringiano contiene, al suo interno, oscillazioni, fasi di crisi e momenti di revisione che il dibattito contemporaneo tende a dimenticare, assolutizzando un quadro che è stato in realtà molto più fluido di quanto la sua attuale presentazione manualistica suggerisca.

La prima affermazione documentata dell'origine asiatica dei popoli nativi americani risale al gesuita José de Acosta, che nel 1590 scrisse nella sua *Historia natural y moral de las Indias* che gli indiani americani dovevano essere discesi da popoli asiatici che avevano attraversato un passaggio terrestre sconosciuto nel settentrione, in un'epoca lontanissima. Si trattava di un'ipotesi speculativa senza basi empiriche, ma notevole per la sua precocità: Acosta intuì l'esistenza di un collegamento fisico tra Asia e America secoli prima che la cartografia lo documentasse. Lo stretto di Bering fu esplorato da Vitus Bering nel 1728, e la possibilità di un attraversamento durante un periodo di livello del mare più basso fu discussa in forma sistematica per la prima volta da John Lubbock nel 1865, nel medesimo decennio in cui la preistoria europea stava scoprendo la grande antichità dell'uomo grazie agli scavi nelle grotte del Périgord e della Vestfalia.

Il paradigma beringiano acquisì la sua forma moderna — la teoria "Clovis First" — attraverso un processo che durò quasi mezzo secolo, dalla scoperta dei primi manufatti a Folsom nel 1927 e a Clovis nel 1929–1933 fino alla sua sistematizzazione teorica negli anni Sessanta. La scoperta di Folsom fu già di per sé rivoluzionaria: le punte di selce ritrovate da Jesse Figgins del Denver Museum of Natural History in associazione diretta con ossa di bisonte estinto (*Bison antiquus*) dimostrarono che gli esseri umani abitavano il Nord America molto prima di quanto la maggioranza degli scienziati americani volesse ammettere — l'accettazione dell'alta antichità dell'uomo in America era stata resistita, per ragioni complesse che mescolavano pregiudizi scientifici e implicazioni politiche riguardo ai diritti delle popolazioni native, fino agli anni Venti del Novecento. La successiva scoperta di punte più antiche a Clovis, in associazione con

fauna pleistocenica che includeva mammut (*Mammuthus columbi*) oltre al bisonte, spinse la data di arrivo degli uomini in America indietro di altri uno o due millenni, nella finestra cronologica di 13.000–14.000 anni prima del presente che divenne il benchmark del paradigma "Clovis First".

Paul Martin dell'Università dell'Arizona fu il principale architetto del modello nella sua versione teoricamente più coerente, pubblicando nel 1967 su *Nature* l'ipotesi dell'overkill — l'estinzione della megafauna pleistocenica nordamericana come prodotto diretto dell'arrivo dei cacciatori Clovis, i cui predecessori asiatici non avevano mai incontrato questa megafauna e l'avevano trovata quindi priva di timore nei confronti degli esseri umani, consentendo una caccia facile e distruttiva che in pochi secoli avrebbe eliminato decine di specie. Martin calcolava che un gruppo di poche centinaia di individui, muovendosi verso sud a una velocità di 16 km all'anno con una crescita demografica del 3,4% annuo, avrebbe potuto percorrere i 15.000 km dal corridoio beringiano alla Tierra del Fuego in meno di mille anni, lasciando dietro di sé un fronte di distruzione faunistica che aveva tutte le caratteristiche di un'onda di prima colonizzazione. Il modello di Martin — elegante matematicamente, compatibile con le date Clovis disponibili, e coerente con la distribuzione dell'estinzione della megafauna (che seguiva il fronte di colonizzazione umana molto più da vicino in America che in Africa, dove la coevoluzione plurimillenaria tra megafauna e ominini aveva prodotto adattamenti difensivi) — divenne il nucleo del paradigma "Clovis First" per i successivi trent'anni.

C. Vance Haynes dell'Università dell'Arizona aggiunse al modello la componente stratigrafica: il cosiddetto "strato nero" (*black mat*) visibile in decine di siti del Nord America — un deposito organico scuro corrispondente all'idromorfia postglaciale — segnava, in molti profili stratigrafici, il confine netto tra i depositi con megafauna pleistocenica e i depositi successivi privi di essa, e i manufatti Clovis si trovavano invariabilmente al di sotto o all'interno di questo strato, mai al di sopra. Haynes costruì attorno a questa osservazione stratigrafica un argomento per l'assenza di siti pre-Clovis: se i depositi al di sotto del black mat fossero stati occupati da esseri umani prima dell'arrivo di Clovis, ci si aspetterebbe di trovarvi manufatti — e la loro assenza sistematica è la prova dell'assenza di esseri umani. L'argomento era metodologicamente problematico — presupponeva una detection probability molto alta che non era stata dimostrata — ma funzionò efficacemente come argomento di chiusura del dibattito pre-Clovis per quasi tre decenni.

La crisi del paradigma "Clovis First" fu lenta, graduale, e per certi versi riluttante. I primi siti candidati a sfidare il modello apparvero negli anni Settanta: Meadowcroft Rockshelter in Pennsylvania, scavato da James Adovasio a partire dal 1973, fornì date radiocarboniche che si estendevano potenzialmente fino a 16.000–19.000 anni fa per i livelli più profondi; Monte Verde in Cile, scoperto e scavato da Tom Dillehay a partire dal 1977, fornì date nell'intervallo 14.800–14.600 anni calibrati per un livello di occupazione con evidenze di strutture abitative, focolari e resti vegetali. La resistenza del mainstream fu considerevole e, in retrospettiva, sproporzionata rispetto alla qualità dei dati: il caso di Monte Verde è particolarmente istruttivo, perché il sito fu oggetto di un'ispezione da parte di un gruppo di esperti nel 1997 che lo ritenne genuinamente pre-Clovis, ma il dibattito sulla validità delle sue date continuò per anni, con argomenti ripetuti che erano stati già confutati dalle risposte di Dillehay e che i critici continuavano a riproporre come se non fossero stati presi in considerazione.

Ciò che emerge con chiarezza dalla storia del paradigma "Clovis First" e della sua progressiva erosione è che il meccanismo di revisione scientifica in questo campo ha operato in modo insolitamente lento e conservativo. Questo non è necessariamente un

difetto: il conservatorismo epistemico — la tendenza a mantenere le ipotesi consolidate in assenza di evidenze schiaccianti per le alternative — ha una giustificazione razionale in termini di riduzione dei falsi positivi, particolarmente in discipline come l'archeologia preistorica dove il record è scarso, frammentario e soggetto a errori tafonomici e metodologici che possono produrre apparenti evidenze pre-Clovis senza che ci sia stata una vera presenza umana pre-Clovis. Il problema è quando il conservatorismo epistemico degenera in conservatorismo ideologico — quando la soglia per accettare un dato divergente dal paradigma dipende non solo dalla qualità del dato ma anche dalla sua provenienza istituzionale, dalla reputazione dell'autore, o dalla comodità delle sue implicazioni per la narrativa dominante. E nel caso del dibattito sul popolamento delle Americhe, ci sono buone ragioni per sospettare che questa degenerazione sia avvenuta in misura significativa, come si argomenterà nel Capitolo VII.

La monografia è organizzata in otto capitoli. Il Capitolo I ricostruisce il contesto paleoecologico e demografico del Solutreano superiore (23.000–17.000 a.P. cal.) e le caratteristiche tecnologiche della sua industria litica. Il Capitolo II analizza le somiglianze tecno-morfologiche tra Solutreano e Clovis, con attenzione particolare all'overshot flaking, al trattamento termico e alla struttura delle assenze diagnostiche, e valuta i protocolli di replica in cieco ancora mancanti. Il Capitolo III esamina l'evidenza genetica — aplogruppo X2a, DNA antico paleoindigeno, paradosso di Lagoa Santa — e i più recenti aggiornamenti genomici (2018–2024). Il Capitolo IV valuta la fattibilità paleoceanografica e paleoclimatica della traversata atlantica, con sezioni specifiche sulle tecnologie di sopravvivenza artica e sulle imbarcazioni di pelle del Paleolitico superiore. Il Capitolo V raccoglie l'evidenza biologica indiretta: DNA canino precolombiano, ectoparassiti, e il parallelo con la colonizzazione polinesiana. Il Capitolo VI, interamente nuovo rispetto alla letteratura precedente, affronta tre problemi analitici che quella letteratura aveva trascurato: l'ipotesi Dene-Yeniseica come evidenza linguistica indipendente, il divario cronologico di 3.500 anni tra la fine del Solutreano e l'emergere di Clovis, e le implicazioni specifiche dei siti pre-Clovis per l'ipotesi. Il Capitolo VII analizza la sociologia del rigetto: i meccanismi istituzionali, politici e mediatici che hanno plasmato la ricezione dell'ipotesi solutriana indipendentemente dal suo contenuto empirico. Il Capitolo VIII presenta la sintesi bayesiana formale, con le previsioni falsificabili ordinate per potere discriminante, i likelihood ratio per ciascuna linea di evidenza, l'analisi di sensibilità, e l'agenda di ricerca prioritaria.

CAPITOLO I

La cultura solutriana nell'Europa dell'Ultimo Massimo Glaciale: ambiente, demografia, tecnologia

1.1 Il Paleolitico superiore europeo e la sua struttura cronologica

Per comprendere la cultura solutriana nella sua specificità non è sufficiente descriverla come una delle sequenze del Paleolitico superiore europeo: bisogna collocarla nella traiettoria biologica, demografica e cognitiva che portò *Homo sapiens* in Europa e ne fece, nel giro di poche migliaia di anni, la specie dominante di un continente dove *Homo neanderthalensis* aveva vissuto per oltre 200.000 anni. Questa traiettoria è rilevante per l'ipotesi solutriana perché stabilisce il punto di partenza demografico e tecnologico da cui si deve ragionare: non cacciatori primitivi nel senso romantico del termine, ma popolazioni con un repertorio cognitivo e tecnologico completo, con arte, musica inferita (flauti in osso di avvoltoio da Hohle Fels, ca. 43.000 a.P.), rituali funebri documentati, reti di scambio che si estendevano su centinaia di chilometri, e una capacità di pianificazione a lungo termine che è la firma neurologica del nostro cervello.

I moderni anatomicamente moderni (*Homo sapiens sapiens*) raggiunsero l'Europa sudorientale tra 47.000 e 43.000 anni fa, secondo le date AMS su resti scheletrici e su manufatti diagnostici dell'Aurignaziano dalla grotta di Bacho Kiro in Bulgaria (Fewlass et al. 2020, *Nature Ecology & Evolution*) e da Kent's Cavern in Gran Bretagna. Per circa 5.000–8.000 anni coesistettero con i Neanderthal in Europa — una convivenza che ha lasciato tracce nel genoma di tutti gli esseri umani non africani, che portano in media l'1–3% di DNA neanderthaliano (Green et al. 2010, *Science*; Prüfer et al. 2014, *Nature*) — prima che i Neanderthal scomparissero definitivamente intorno a 40.000–39.000 anni fa, probabilmente per una combinazione di competizione ecologica, riduzione della diversità genetica da consanguineità, e vulnerabilità alle malattie portate dai nuovi arrivati.

Il Paleolitico superiore europeo viene convenzionalmente suddiviso in una sequenza di industrie litiche e di culture materiali che si succedono, con variazioni regionali significative, nel corso dei 30.000 anni tra l'Aurignaziano iniziale (ca. 43.000 a.P.) e il Mesolitico (ca. 11.000–10.000 a.P.): Aurignaziano, Gravettiano, Solutreano, Magdaleniano, Epigravettiano (quest'ultimo nell'Europa centro-orientale e meridionale). Questa successione non riflette necessariamente una sequenza di popolamenti distinti o di ondate migratorie separate: l'analisi del DNA antico delle popolazioni del Paleolitico superiore europeo (Lazaridis et al. 2014; Fu et al. 2016; Posth et al. 2016, *Current Biology*) mostra una struttura demografica complessa, con sostituzioni di popolazione, gitti di fondatori, e flussi genici bidimensionali che rendono la relazione tra sequenze culturali e popolazioni geneticamente definite molto meno lineare di quanto la tipologia litica tradizionale suggerisse.

Un elemento di questa storia demografica è particolarmente rilevante per l'ipotesi solutriana. Le analisi di Fu et al. (2016, *Nature*) su 51 individui del Paleolitico superiore europeo datati tra 45.000 e 7.000 a.P. mostrano che la struttura genetica delle popolazioni europee dell'UMG — il periodo che include il Solutreano — era caratterizzata da una drastica riduzione della diversità genetica rispetto alle popolazioni pre-UMG, con alcune linee genetiche (in particolare alcune che erano abbondanti nell'Aurignaziano e nel Gravettiano) che scompaiono quasi completamente dal record

antico durante l'UMG, per poi ricomparire parzialmente nel Magdaleniano post-glaciale. Questo pattern è coerente con un forte effetto di bottleneck demografico durante l'UMG: le popolazioni europee si contrassero significativamente sotto la pressione del clima glaciale, si concentrarono nei rifugi meridionali (Iberia, Italia meridionale, Balcani), e solo alcune linee genetiche sopravvissero per dare origine alle popolazioni del Magdaleniano. Questa contrazione demografica è il contesto entro cui si sviluppa la cultura solutriana: non un'espansione culturale in condizioni favorevoli, ma il fiore più elaborato di una civiltà paleolitica che stava operando al limite delle sue risorse demografiche, in condizioni di freddo intenso, con popolazioni ridotte a poche migliaia di individui e distribuite in un territorio che il ghiaccio e il deserto periglaciale rendevano sempre più ristretto.

1.2 Il quadro paleoambientale della penisola iberica e della Francia sudoccidentale durante l'UMG

Descrivere il paleoambiente dell'Europa sudoccidentale durante l'UMG richiede uno sforzo di immaginazione geografica radicale: il paesaggio che queste popolazioni abitavano era così diverso dall'Europa attuale che ogni proiezione diretta delle sue condizioni ecologiche odierne produce errori sistematici. La ricostruzione di questo paesaggio si basa su quattro linee di evidenza convergenti: i pollini fossili conservati in torbiere e in sedimenti lacustri, che permettono di ricostruire la vegetazione; i resti faunistici dei depositi archeologici e paleontologici, che riflettono la composizione delle comunità animali; le analisi isotopiche del $\delta^{18}O$ e del $\delta^{13}C$ nelle speleotemi (stalattiti e stalagmiti), che registrano le variazioni di temperatura e precipitazione con una risoluzione temporale molto alta; e i modelli climatici accoppiati oceano-atmosfera del tipo PMIP3 e PMIP4 (Paleoclimate Modelling Intercomparison Project), che forniscono ricostruzioni quantitative delle variabili climatiche per il periodo 21.000–26.500 a.P.

La penisola iberica durante l'UMG era divisa in modo netto dalle catene montuose che la percorrono da est a ovest — i Pirenei, il Sistema Iberico, la Cordigliera Cantabrica. A nord di queste catene, la zona cantabrica (la fascia costiera atlantica compresa tra il Golfo di Biscaglia e la Galizia) era caratterizzata da un clima relativamente umido e temperato per gli standard dell'UMG: le correnti oceaniche atlantiche mitigavano le temperature, le precipitazioni erano sufficienti a mantenere una vegetazione aperta a prati e tundra-steppa con elementi forestali nelle valli riparate, e la fauna era abbondante — cavallo (*Equus ferus caballus*), bisonte (*Bison priscus*), uri (*Bos primigenius*), cervo (*Cervus elaphus*), camoscio (*Rupicapra rupicapra*) e, nelle aree più elevate, renna (*Rangifer tarandus*). Questa era la regione dove la densità di siti solutriani era più alta e dove la tecnologia solutriana raggiunse la sua massima elaborazione.

A sud dei sistemi montuosi, la meseta castigliana era un altopiano arido e freddo, una vera e propria tundra semidesertica percorsa da venti settentrionali di intensità siberiana. I siti solutriani della Spagna interna — come quelli del bacino del Tago e del Manzanarre — erano meno elaborati tecnologicamente e mostravano strategie di sussistenza più opportunistiche, un indicatore del fatto che le condizioni ecologiche erano significativamente più dure dell'area cantabrica. La Catalogna e la zona levantina erano in una posizione intermedia, con un clima mediterraneo modificato dalle condizioni glaciali — più freddo e secco dell'attuale ma non arido come la meseta — e con la presenza di siti solutriani importanti, tra cui Parpalló presso Gandía (Valencia), che ha fornito la sequenza stratigrafica solutriana più completa dell'Iberia, con oltre tre metri di depositi che coprono l'intera durata della cultura.

La Francia sudoccidentale — il Périgord, l'area della Vézère, la regione pirenaica — era la zona che Leroi-Gourhan chiamava il "santuario" della cultura paleolitica europea, sia per la concentrazione di grotte con arte rupestre sia per la densità e la qualità dei depositi archeologici. Durante l'UMG, questa regione era caratterizzata da un clima più continentale dell'area cantabrica — inverni più freddi, estati più calde — con una vegetazione a tundra steppica aperta, dominata da graminacee e piante erbacee, con boschi di betulle e pini nelle posizioni riparate lungo i corsi d'acqua. La fauna rispecchiava questa vegetazione aperta: i cavalli e i bisonti dominavano le comunità di ungulati, con presenza significativa di renna nelle fasi di massimo freddo. La presenza di renna — un indicatore di condizioni subarctiche — nei livelli solutriani di Laugerie-Haute e di Font-de-Gaume, due dei siti più importanti del Périgord, documenta il grado di raffreddamento raggiunto durante l'UMG anche a latitudini meridionali come il Périgord (44°N).

La linea di costa atlantica durante l'UMG era radicalmente diversa dall'attuale. Con il livello del mare abbassato di 120–130 m rispetto a oggi — una conseguenza della quantità d'acqua sequestrata nelle calotte glaciali laurenzide, fennoscandinava e antartica — la piattaforma continentale atlantica era parzialmente emersa. La Galizia e la Cantabria avevano una costa avanzata di 50–100 km verso ovest rispetto all'attuale; il Golfo di Biscaglia era meno ampio; le Isole Britanniche erano collegate al continente europeo attraverso la Doggerland, una vasta pianura alluvionale oggi sommersa nel Mare del Nord e nella Manica. Questa configurazione geografica ha una conseguenza diretta per l'ipotesi solutriana: i siti solutriani costieri — se esistevano, e ci sono buone ragioni per ipotizzare che esistessero, visto che le coste erano probabilmente le zone più produttive per la caccia e la raccolta — si trovano oggi sotto decine di metri di colonna d'acqua, inaccessibili all'archeologia convenzionale e invisibili alle survey terrestri. L'assenza di siti solutriani con evidenze di caccia marina non significa l'assenza di tali siti, ma la loro sommersione postglaciale.

1.3 La tecnologia solutriana: una descrizione tecnica dettagliata

1.3.1 Il problema della qualità eccezionale

Tra tutte le industrie litiche del Paleolitico superiore europeo, il Solutreano occupa una posizione singolare per la qualità tecnica dei suoi manufatti più elaborati. Questa qualità non è soggettiva: è misurabile in termini fisici. Le *feuilles de laurier* del Solutreano medio — le punte bifacciali a forma di foglia di lauro che costituiscono il tipo diagnostico più caratteristico e tecnologicamente più impegnativo della cultura — raggiungono in alcuni esemplari uno spessore minimo di 3–4 mm su una lunghezza di 20–30 cm e una larghezza di 6–8 cm, con un rapporto lunghezza/spessore di 6:1 o anche superiore. Questo rapporto si avvicina ai limiti fisici della resistenza del selce criptocristallino: al di sotto di 3 mm di spessore, le vibrazioni meccaniche prodotte durante il ritocco di pressione producono fratture casuali con alta probabilità, e la produzione di esemplari integri richiede un controllo tecnico di livello eccezionale. André Leroi-Gourhan scrisse che i grandi foliati solutriani erano "la più grande conquista tecnica del Paleolitico superiore", un giudizio che i tecnologi litici moderni hanno generalmente confermato.

Questa qualità eccezionale ha generato nel tempo due tipi di interpretazione: un'interpretazione funzionale, che vede nelle *feuilles de laurier* grandi e sottili delle punte di lancia da contatto o dei coltelli da macellazione di altissima efficienza; e un'interpretazione prestiziosa, che li vede come oggetti cerimoniali o di scambio prodotti non per l'uso funzionale ma per la dimostrazione di competenza tecnica — una sorta di firma dell'eccellenza artigianale analoga ai grandi vasi rituali Mycenei o alle

spade di bronzo del Tardo Bronzo europeo, che raggiungevano dimensioni e finiture incompatibili con l'uso bellico. L'interpretazione prestiziosa è favorita dalla distribuzione spaziale degli esemplari più grandi: il deposito di Volgu (Saône-et-Loire, Francia), datato intorno a 21.000 a.P., conteneva 21 grandi foliati di eccezionale qualità, alcuni dei quali integri, in un contesto che non mostra tracce di uso funzionale intensivo. Solufer (2005, *Journal of Human Evolution*) ha interpretato questo deposito come una cache di oggetti di prestigio, possibilmente destinati allo scambio o a un uso rituale.

Indipendentemente dall'interpretazione funzionale, la produzione delle *feuilles de laurier* richiede una sequenza operativa molto più complessa di quella necessaria per qualsiasi altra punta litica del Paleolitico superiore europeo, e la comprensione di questa sequenza è il punto di partenza per qualsiasi comparazione con la tecnologia Clovis.

*1.3.2 La *chaîne opératoire* solutriana: dall'approvvigionamento al prodotto finito*

La ricostruzione delle *chaînes opératoires* solutriane si basa su tre fonti principali: l'analisi tecnologica delle collezioni di manufatti finiti e di scarti di lavorazione (*débitage*) provenienti dagli scavi stratificati; la sperimentazione replicativa condotta da tecnologi litici professionisti, tra cui lo stesso Bruce Bradley ma anche Jacques Pelegrin del CNRS, il principale esperto mondiale di ritocco di pressione paleolitico; e l'analisi delle tracce d'uso (*use-wear analysis*) sui manufatti, che permette di inferire le fasi di utilizzo e di smaltimento.

La *chaîne opératoire* di una *feuille de laurier* di qualità media comprende le seguenti fasi, ciascuna delle quali richiede competenze distinte e non è riducibile alle altre:

La prima fase è la **selezione e l'acquisizione della materia prima**. Il selce (*flint*, *silex*) e le sue varietà mineralogiche — la selce del Périgord, la roccia cornea di Spagna, il jaspe rosso del Levante iberico — non sono ugualmente adatti alla produzione di foliati sottili. La materia prima ideale è una roccia silicea a struttura microcristallina finissima, priva di inclusioni e di piani di frattura preferenziali, con una struttura isotropa che consente la frattura concoide controllata in qualsiasi direzione. I Solutriani selezionavano la materia prima con cura: lo studio delle fonti di approvvigionamento tramite analisi geochimiche (XRF, analisi degli elementi in traccia) ha mostrato che i manufatti solutriani dei siti della Vézère utilizzavano selci provenienti da fonti fino a 50–80 km di distanza, il che implica non solo la mobilità geografica dei gruppi solutriani ma anche la capacità di discriminare la qualità della materia prima su una scala geografica ampia.

La seconda fase è il **riscaldamento controllato** (*heat treatment*). Prima di procedere alla riduzione principale, i Solutriani — e, come si argomenterà nel Capitolo II, anche i produttori delle punte Clovis — sottoponevano i blocchi di selce selezionati a un ciclo di riscaldamento controllato. Il processo, ricostruito sperimentalmente da Domanski e Wood (1997, *Journal of Archaeological Science*) e verificato su campioni solutriani autentici da Inizan et al. (1999) tramite misurazioni di riflettanza e analisi spettroscopica Raman, consiste nel seppellire il blocco di selce sotto uno strato di sabbia o cenere e riscaldarlo gradualmente fino a temperature comprese tra 150°C e 350°C, mantenendole per diverse ore, e poi raffreddarlo altrettanto gradualmente. Il ciclo di riscaldamento produce nella struttura cristallina del selce una serie di trasformazioni fisico-chimiche: l'acqua interstiziale si trasforma in acqua strutturalmente legata, la struttura dei cristalli di quarzo si riorganizza parzialmente, e la durezza superficiale della roccia diminuisce leggermente mentre la sua capacità di deformarsi plasticamente prima della frattura aumenta. Il risultato è una roccia che risponde al

ritocco di pressione con fratture molto più regolari e prevedibili, producendo bordi più netti e schegge di forma più controllata. Il riscaldamento è identificabile sui manufatti autentici attraverso la lucentezza (*sheen*) della superficie, l'aumento della brillantezza del colore, e la presenza di micro-fratture da calore (*potlids*) sulle superfici esposte a temperature eccessive.

La terza fase è la **produzione della pre-forma**. Il blocco di selce trattato termicamente viene ridotto, attraverso una serie di rimossi per percussione diretta con percussore di pietra tenera (calcare) o per percussione indiretta con punch di corno o avorio, a una forma grossolana che anticipa già la morfologia generale del manufatto finito — ovale, con una superficie dorsale e una ventrale progressive. Questa pre-forma è già un artefatto bifacciale, con entrambe le facce ritoccate, ma con bordi grossolani e irregolari che richiedono ulteriore lavorazione.

La quarta fase, e la più critica, è il **ritocco di pressione** (*pressure flaking*). Il tecnologo litico prende la pre-forma e, usando uno strumento appuntito di corno o di avorio (il "pressore"), applica una pressione progressiva e controllata sul bordo della roccia, in un punto preciso e con un angolo preciso. Se la pressione è applicata correttamente, si stacca una scheggia laminare sottile e regolare — un "rimosso di pressione" — che avanza parallela alla superficie della roccia per un tratto dipendente dalla convessione della faccia e dalla posizione del punto di pressione. La sequenza di rimossi di pressione progredisce lungo il bordo, alternando i due lati, e poco a poco assottiglia e regolarizza la forma della pre-forma fino al profilo finale. La qualità del prodotto finito dipende dalla capacità del tecnologo di "leggere" in ogni momento la geometria della superficie residua e di anticipare, per ogni rimosso, il modo in cui modificherà la superficie per il rimosso successivo — un'abilità che si apprende solo attraverso anni di pratica e che Jacques Pelegrin ha stimato richiedere, per raggiungere il livello dei migliori esemplari solutriani, da cinque a dieci anni di apprendistato intensivo.

La quinta fase è la **finitura e il controllo qualità**. Il prodotto del ritocco di pressione viene esaminato per verificare la simmetria del profilo, la regolarità dei bordi, e l'assenza di fratture parassite che potrebbero comprometterne l'integrità strutturale. I pezzi difettosi vengono scartati o riciclati; i pezzi integri vengono eventualmente immanicati — attraverso la legatura in code di tendine o fibre vegetali — o consegnati per l'uso.

1.3.3 L'overshot flaking: il cuore della comparazione

Tra tutte le caratteristiche tecno-morfologiche della tecnologia solutriana che Stanford e Bradley mettono in parallelo con la tecnologia Clovis, l'*overshot flaking* — in italiano, approssimativamente, "rimosso passante" o "thinning debordante" — è quella con il valore inferenziale potenzialmente più alto, e merita una descrizione tecnica precisa che la letteratura popolare sull'ipotesi solutriana raramente fornisce.

Durante la riduzione bifacciale, quando si rimuove una scheggia da una faccia del pezzo, il rimosso avanza attraverso la superficie di quella faccia a partire dal bordo di percussione (o di pressione). In condizioni normali, il rimosso si interrompe prima di raggiungere il bordo opposto, terminando nel corpo del pezzo e producendo una cicatrice che si arresta al di sotto del piano di simmetria mediana del bifacciale. Questo è il comportamento "normale" e atteso. Nell'*overshot flaking*, invece, il rimosso continua oltre il piano di simmetria e termina sul bordo opposto, "sorpassando" (*overshooting*) la mezzeria e producendo una cicatrice che attraversa tutta la larghezza del pezzo. Il risultato sul pezzo finito è una superficie caratterizzata da cicatrici "passanti" — riconoscibili perché i loro bordi distali si trovano sul bordo opposto del bifacciale piuttosto che nel suo corpo.

L'*overshot flaking* non è una tecnica deliberata in tutti i casi: può essere il risultato accidentale di una percussione o di una pressione troppo forte, o può essere una tecnica deliberata di assottigliamento accelerato del bifacciale, usata quando il tecnologo vuole ridurre rapidamente lo spessore del pezzo attraverso rimossi di grande ampiezza. Il problema interpretativo è distinguere i casi di *overshot* accidentale dai casi deliberati. Stanford e Bradley (2012) sostengono che la frequenza relativamente alta di *overshot flaking* nei bifacciali solutriani e Clovis — rispetto alle industrie litiche dell'Asia nordorientale — riflette una scelta tecnica deliberata che è caratteristica di queste due tradizioni, non un artefatto di percussione troppo forte che si verifica in qualsiasi industria bifacciale.

Questa distinzione può in linea di principio essere verificata attraverso l'analisi morfometrica delle cicatrici di *overshot*: se i rimossi passanti sono deliberati, ci si aspetta che le loro lunghezze siano sistematicamente più grandi delle lunghezze dei rimossi normali (perché il tecnologo applica più forza o pressione intenzionalmente); se sono accidentali, ci si aspetta una distribuzione casuale delle lunghezze. L'analisi morfometrica di questo tipo non è ancora stata condotta su campioni statisticamente rappresentativi di bifacciali solutriani, Clovis e siberiani con un protocollo condiviso — una lacuna metodologica che questa monografia identifica come priorità di ricerca.

1.4 La struttura demografica solutriana: stime quantitative e loro implicazioni

1.4.1 I metodi per stimare la popolazione paleolitica

Stimare la dimensione e la struttura demografica di una popolazione del Paleolitico superiore è uno dei problemi più difficili dell'archeologia preistorica, perché tutte le fonti di informazione disponibili — il numero di siti, la densità dei depositi, la frequenza dei manufatti, il numero di individui sepolti, la struttura genetica del DNA antico — sono soggette a bias di conservazione, di scoperta e di scavo che distorcono sistematicamente le stime verso il basso (le popolazioni erano più numerose di quanto il record conservato suggerisca) o, più raramente, verso l'alto (in aree di intensa survey dove il bias di scoperta è basso).

I quattro principali metodi per la stima demografica applicati al Paleolitico superiore europeo sono i seguenti. Il **metodo dei siti** conta i siti con depositi attribuibili a una cultura e in un periodo dati, corregge per il bias di scoperta e di conservazione, e inferisce dalla densità di siti una densità di popolazione basata su analogie etnografiche con cacciatori-raccoglitori storici. Il **metodo del DNA antico** usa la diversità nucleotidica dei genomi paleolitici per stimare la dimensione della popolazione ancestrale attraverso l'analisi della coalescenza — un approccio che soffre di grandi incertezze legate al modello demografico assunto. Il **metodo delle sepolture** stima la dimensione della popolazione dalla frequenza di sepolture, assumendo un tasso di mortalità noto e una probabilità di sopravvivenza nel record noto. Il **metodo della carrying capacity** stima la densità di popolazione sulla base della produttività ecologica dell'ambiente ricostruita paleobotanicamente e paleofaunisticamente, applicando coefficienti di rendimento energetico delle strategie di sussistenza documentate etnograficamente.

Bocquet-Appel e colleghi (2005, *Journal of Archaeological Science*; 2009) hanno applicato il metodo dei siti all'intero Paleolitico superiore europeo, producendo curve di densità di siti nel tempo che riflettono con buona approssimazione le fluttuazioni demografiche. I loro dati mostrano che la densità di siti cala drammaticamente durante l'UMG — un segnale di contrazione demografica coerente con il deterioramento

climatico — e riprende poi a crescere durante il Magdaleniano, con un picco nel Magdaleniano superiore (ca. 15.000–13.000 a.P.) che corrisponde al maggior numero di siti e alla più alta elaborazione artistica del Paleolitico superiore europeo.

Per il territorio solutriano specifico — la penisola iberica e la Francia sudoccidentale a ovest dei Pirenei centrali — la stima che emerge da questi metodi combinati è nell'ordine di 1.500–5.000 individui totali durante il Solutreano medio e superiore. Questa è una stima di ordine di grandezza con un'incertezza grande (almeno un fattore 2–3 in ciascuna direzione), ma fornisce un quadro demografico di riferimento. Con 1.500–5.000 individui distribuiti in un territorio di circa 500.000 km² (la penisola iberica più la Francia sudoccidentale), la densità di popolazione era nell'ordine di 0,003–0,01 individui per km² — un valore compatibile con le densità documentate nei cacciatori-raccoglitori del Subartico storico (0,005–0,05 individui/km² secondo Kelly 1995, *The Foraging Spectrum*) ma verso il limite inferiore dell'intervallo, il che è coerente con le condizioni ambientali dure dell'UMG.

La struttura sociale inferita da questa densità è quella di una popolazione organizzata in bande di 20–50 individui, distanziate l'una dall'altra di decine di chilometri, con incontri stagionali che coinvolgevano probabilmente più bande (come suggeriscono i grandi assemblaggi di fauna cacciata come la drive site di Solutré, in Borgogna, dove sono stati ritrovati i resti di oltre 100.000 cavalli accumulati nel corso di millenni di caccia collettiva). Il mantenimento di reti sociali sovra-banda era necessario per la riproduzione biologica — evitare la consanguineità in una popolazione così piccola — e probabilmente anche per la circolazione dell'informazione tecnologica, come suggerito dalla distribuzione delle materie prime litiche esoteriche nei siti solutriani.

1.4.2 Implicazioni demografiche per l'ipotesi della traversata

La struttura demografica solutriana ha implicazioni dirette per la valutazione dell'ipotesi di una migrazione atlantica, e queste implicazioni vanno in direzioni opposte a seconda di come si configura la migrazione. Se si ipotizza una migrazione organizzata e intenzionale — un gruppo che decide di esplorare o colonizzare nuovi territori verso occidente — le dimensioni della popolazione fondatrice devono essere sufficienti a garantire la sopravvivenza biologica del gruppo (cioè a evitare la deriva genetica e la consanguineità entro poche generazioni) e la trasmissione della tecnologia attraverso una catena ininterrotta di apprendistato. I genetisti delle popolazioni stimano la dimensione minima di una popolazione fondatrice *viable* in circa 50–100 individui per periodi di qualche centinaio di anni (Lynch e Lande 1998, *Conservation Biology*). Con bande di 20–50 individui, sarebbero necessarie 2–4 bande che si muovessero in modo coordinato, il che richiede un'organizzazione sociale sopra-banda del tipo documentato etno-graficamente in alcune popolazioni circumartiche come i Caribou Inuit del Canada.

Se si ipotizza invece una migrazione accidentale — un gruppo piccolo di cacciatori trascinato dalla deriva del ghiaccio o del vento verso ovest, che riesce a sopravvivere e a raggiungere la costa nordamericana — le dimensioni possono essere molto minori, ma il costo biologico è altissimo: la probabilità di estinzione per deriva genetica di un gruppo fondatore di 10–20 individui nell'arco di 10–20 generazioni è dell'ordine del 50–90%, secondo i modelli di Wright-Fisher con parametri demografici realistici. La riuscita di una fondazione da un gruppo così piccolo richiede una fortuna demografica eccezionale che, per definizione, non è il risultato atteso ma l'eccezione. Nulla vieta che l'eccezione si sia verificata, ma il calcolo probabilistico ne definisce la rarità attesa.

1.5 La cultura materiale solutriana oltre la tecnologia litica: arte, rete di scambi, comportamento rituale

Una limitazione frequente del dibattito sull'ipotesi solutriana è la focalizzazione quasi esclusiva sulla tecnologia litica, che oscura la ricchezza della cultura solutriana in altri domini e riduce il confronto con Clovis a un'analisi di selci e ossidiane senza tenere conto dei sistemi culturali più ampi in cui queste tecnologie erano incorporate. La cultura solutriana, intesa come sistema culturale, presenta caratteristiche che contribuiscono in modo importante alla valutazione della sua plausibilità come cultura d'origine per una migrazione atlantica.

L'arte del Solutreano è meno studiata dell'arte magdaleniana — che produce i grandi capolavori di Altamira, Lascaux e Font-de-Gaume — ma non è meno presente. Le grotte dipinte attribuibili o associate al Solutreano includono El Castillo (Cantabria), Coa Valley (Portogallo), e Cosquer (Francia), quest'ultima ora parzialmente sommersa nel Mediterraneo ma accessibile attraverso un tunnel subacqueo. Cosquer è particolarmente rilevante: la grotta si apre a 37 m di profondità sotto il livello del mare attuale, il che significa che durante il Solutreano la sua entrata era all'asciutto, a circa 100 m sopra il livello del mare dell'UMG. Le pitture di Cosquer includono rappresentazioni di pinguini — in realtà, secondo la lettura più recente, di alche (*Alca impennis*, l'alca impenne, ora estinta) — e soprattutto di foche, mammiferi marini non documentati nell'arte di altri siti solutriani continentali. Questa presenza di fauna marina nell'iconografia di Cosquer è stata interpretata come evidenza che i Solutriani della costa mediterranea avevano una familiarità con l'ambiente marino che si rifletteva nelle loro rappresentazioni visive, e che la caccia marina non era un comportamento estraneo alla loro cultura.

Le reti di scambio documentate dalla distribuzione delle materie prime litiche e delle conchiglie marine usate come ornamenti confermano un sistema di mobilità e di connessione sovra-regionale che, pur restando all'interno di un orizzonte continentale, dimostra la capacità organizzativa necessaria per l'esplorazione di nuovi territori. La presenza di conchiglie di *Glycymeris* e di *Spondylus* nei siti solutriani dell'entroterra iberico, distanti centinaia di chilometri dalla costa, documenta scambi che coinvolgevano prodotti marini — il che implica, a sua volta, che gruppi solutriani dell'entroterra erano in contatto regolare con gruppi solutriani costieri che avevano accesso diretto alle risorse marine.

CAPITOLO II

La comparazione tecno-morfologica tra Solutreano e Clovis: storia del dibattito, anatomia delle somiglianze, valutazione statistica

2.1 La preistoria della comparazione: da Greenman a Stanford-Bradley

L'idea che esistesse una qualche connessione tra la tecnologia litica del Paleolitico superiore europeo e le industrie paleoindiane del Nord America ha una storia più lunga di quanto il dibattito contemporaneo riconosca. Emerson Greenman, dell'Università del Michigan, pubblicò nel 1963 su *Current Anthropology* un articolo intitolato "The Upper Palaeolithic and the New World" in cui sosteneva che la cultura Clovis e altre industrie paleoindiane mostravano somiglianze con diverse culture del Paleolitico superiore europeo, includendo non solo il Solutreano ma anche il Magdaleniano e persino l'Aurignaziano. Le reazioni furono prevalentemente negative: il panel di discussanti che *Current Anthropology* allegò all'articolo — secondo la tradizione di quella rivista di pubblicare contemporaneamente un testo e le risposte critiche di specialisti — giudicò le somiglianze identificate da Greenman troppo generiche per essere diagnostiche di un contatto, e l'ipotesi rimase ai margini della disciplina per tre decenni.

La differenza critica tra l'approccio di Greenman e quello di Stanford e Bradley non è nella tesi di fondo — entrambi sostengono una connessione transatlantica — ma nella qualità e nella specificità dell'analisi comparativa. Greenman operava con le categorie tipologiche grossolane della tradizione comparativista pre-sistematica, identificando somiglianze superficiali nella forma generale degli strumenti senza scendere nell'analisi delle sequenze operative. Stanford e Bradley, al contrario, sono entrambi tecnologi litici pratici con decenni di esperienza nella replicazione sperimentale: Bradley in particolare è riconosciuto come uno dei migliori tecnici del ritocco di pressione al mondo, capace di replicare sia manufatti solutriani che Clovis con un livello di fedeltà che nessun altro ricercatore ha dimostrato. La loro analisi non si basa su morfologie superficiali ma su sequenze operative complete, e questo le conferisce un livello di specificità — e di falsificabilità — che l'analisi di Greenman non aveva.

La prima formulazione moderna dell'ipotesi solutriana in senso stretto fu pubblicata da Stanford e Bradley nel 1999 in un articolo su *Lithic Technology* dal titolo programmatico "The Solutrean solution", dove per la prima volta la comparazione tecno-morfologica veniva fondata sull'*overshot flaking* come elemento discriminante specifico. Nel 2002 pubblicarono un secondo articolo su *Current Anthropology*, "Ocean trails and prairie paths? Thoughts about Clovis origins", che rispose sistematicamente alle critiche ricevute e affinò l'argomento. Il volume del 2012 fu la sintesi definitiva di questo lavoro decennale.

2.2 La tecnologia Clovis: struttura tecno-morfologica e problemi di origine

Prima di affrontare la comparazione, è necessario descrivere la tecnologia Clovis con la stessa precisione usata per il Solutreano, perché molte delle critiche all'ipotesi di Stanford e Bradley si basano su descrizioni semplificate di entrambe le tradizioni che oscurano i paralleli più significativi ma anche le differenze più importanti.

La cultura Clovis, come si è detto, è definita dalla presenza di un insieme di manufatti diagnostici tra cui la caratteristica punta bifacciale con scanalatura basale. Ma la punta

Clovis è solo il manufatto più visibile di un sistema tecnologico complesso che include molte componenti: lame prismatiche, bulini, raschiatoi, strumenti in osso (in particolare le "punte ossee bevellate" a sezione biconvessa), e oggetti di ornamento. La *chaîne opératoire* Clovis inizia con la selezione di una materia prima di alta qualità — spesso portata da fonti lontane decine o centinaia di chilometri, con le stesse implicazioni di mobilità geografica riscontrate nel Solutreano — e procede attraverso una pre-forma bifacciale prodotta con percussione indiretta, che viene poi assottigliata con ritocco di pressione (spesso su materiale trattato termicamente) prima di ricevere la *flute* come operazione finale.

L'operazione di produzione della *flute* merita una descrizione tecnica approfondita perché è il punto di massima divergenza tra la tecnologia Clovis e il Solutreano, e perché la sua interpretazione è al centro del dibattito sull'origine della prima. La *flute* è una scanalatura prodotta staccando una o più schegge (*channel flakes*) dalla base della punta bifacciale già quasi completata, in direzione dell'asse maggiore della punta stessa. Per staccare una *channel flake* di questa forma, il tecnologo deve posizionare la punta bifacciale su un'incudine di pietra o di avorio con la base verso l'alto, preparare una piattaforma di percussione nella posizione corretta sul margine basale, e poi applicare un colpo energico con un percussore di corno o avorio in direzione precisa. L'operazione è ad alto rischio: la geometria del pezzo è sfavorevole alla propagazione della frattura nella direzione desiderata (la concavità della *flute* deve formarsi sul lato ventrale, che è più curvato e meno favorevole del dorsale), e la proporzione di pezzi rotti durante la *fluting* è documentata sperimentalmente nell'ordine del 30–60% per tecnici esperti, con punte che possono arrivare all'80–90% per tecnici meno esperti.

Questa difficoltà tecnica ha portato alcuni ricercatori a chiedersi perché la *flute* fosse prodotta del tutto: quale vantaggio funzionale giustificava un rischio così alto di distruzione di un pezzo già quasi completato? Le ipotesi funzionali includono: (a) facilitazione dell'immanicatura — la *flute* avrebbe alleggerito la base della punta consentendo un'immanicatura più efficiente in un fusto di legno spaccato; (b) riduzione del peso — assottigliando la base, la *flute* avrebbe spostato il baricentro verso la punta, migliorando le caratteristiche balistiche del proiettile; (c) facilitazione del ritiro della punta — una punta immanicata con una *flute* che scivolava verso l'interno del fusto nella direzione dell'impatto avrebbe permesso di recuperare il fusto della lancia dall'animale ferito lasciando la punta all'interno. Nessuna di queste ipotesi è stata dimostrata definitivamente, e l'ipotesi dell'immanicatura è la più citata nella letteratura specialistica anche se non mancano critiche alla sua plausibilità meccanica.

Quello che è certo è che la *flute* non ha precedenti nel Paleolitico superiore euroasiatico. Nessuna industria litica dell'Asia nordorientale, dell'Asia centrale, dell'Europa o del Medio Oriente mostra la produzione di scanalature basali sulle punte bifacciali nel modo specifico della tecnologia Clovis. Questo è il punto su cui Lawrence Straus fonda la sua critica più forte all'ipotesi solutriana: se Clovis discende dal Solutreano, come si spiega che la sua caratteristica più distintiva non ha precedenti solutriani? Stanford e Bradley rispondono che la *flute* è un'innovazione nordamericana sviluppata localmente da una tradizione bifacciale di origine europea — una risposta che è logicamente coerente ma che indebolisce il collegamento diretto tra i due corpora tecno-morfologici.

2.3 Il catalogo delle somiglianze: un'analisi sistematica per livelli di specificità

2.3.1 L'overshot flaking: il test statistico che manca

L'*overshot flaking*, come si è descritto nel Capitolo I, è la caratteristica tecno-morfologica con il potenziale valore diagnostico più alto nell'argomentazione di Stanford e Bradley. La loro affermazione — che la frequenza di *overshot flaking* è significativamente più alta nelle industrie solutriane e Clovis che nelle industrie litiche dell'Asia nordorientale che il modello beringiano indica come antenate tecnologiche di Clovis — è potenzialmente verificabile in modo statisticamente rigoroso, ma non è stata ancora verificata con un protocollo metodologicamente inattaccabile.

Per comprendere perché questa verifica è tecnicamente difficile, bisogna capire cosa significa "identificare" l'*overshot flaking* su un manufatto reale. Un rimosso di pressione produce, sulla superficie del pezzo, una cicatrice — un'impronta della scheggia staccata — i cui bordi sono visibili come sottili creste rilevate. La distinzione tra un rimosso "normale" (che termina nel corpo del pezzo) e un rimosso "passante" (*overshot*, che termina sul bordo opposto) richiede di tracciare il profilo distale della cicatrice e di determinare se esso si trova al di sopra o al di sotto del bordo opposto del bifacciale. In teoria, questo è un criterio geometrico preciso; in pratica, su manufatti con superfici già elaborate da molti rimossi sovrapposti, il profilo distale di un rimosso specifico è spesso parzialmente oscurato dai rimossi successivi, e la classificazione dipende da una stima dell'anatomia originale della superficie che ha un margine di soggettività non trascurabile.

Bradley e Collins (1999, *Current Anthropology*) dichiarano frequenze di *overshot flaking* del 28–42% nei campioni Clovis e del 34–42% nei campioni solutriani, contro il 4–11% nei campioni siberiani. Queste cifre, se corrette, sarebbero molto significative: una differenza del 34–42% contro il 4–11% corrisponde a un odds ratio di circa 5–10, che in un confronto a due gruppi con campioni nell'ordine di n=40–90 produce un p-value ben al di sotto di 0,001 con qualsiasi test ragionevole (chi-quadro, Fisher exact, Mann-Whitney). Il problema è che non è chiaro quale protocollo di classificazione sia stato usato, se chi classificava i rimossi come "overshot" o "non-overshot" fosse cieco rispetto all'appartenenza culturale del pezzo, e se i campioni siano stati selezionati in modo rappresentativo o in modo tale da massimizzare le somiglianze (per i campioni solutriani e Clovis) o le differenze (per i campioni siberiani).

In assenza di questa informazione metodologica, le cifre di Bradley e Collins hanno lo status di osservazioni preliminari suggestive, non di risultati statisticamente robusti. La comunità scientifica ha accolto queste cifre con troppa acquiescenza — sia i sostenitori, che le citano come evidenza forte, sia i critici, che le ignorano piuttosto che richiedere una replica con protocollo cieco.

Il modo corretto di procedere sarebbe il seguente. Si selezionano, con criteri predefiniti e indipendenti dall'ipotesi (per esempio: tutti i bifacciali con almeno 20 cicatrici di ritocco, da siti con datazioni AMS nell'intervallo 25.000–12.000 a.P., provenienti da contesti stratigraficamente documentati), campioni rappresentativi delle tre tradizioni (Solutreano, Clovis, Dyuktai-Nenana). Si producono modelli 3D ad alta risoluzione di ciascun manufatto tramite scanner a luce strutturata o fotogrammetria. Si affida la classificazione dei rimossi come "passanti" o "non-passanti" a un gruppo di tecnologi litici che non conoscono l'appartenenza culturale dei pezzi (classificazione in cieco). Si calcola la frequenza di *overshot flaking* per ciascun manufatto e per ciascuna tradizione, con intervalli di confidenza bootstrap. Si applica un test statistico appropriato (ANOVA con confronti post-hoc, o modello di regressione logistica con "tradizione" come variabile predittiva e "presenza di overshot" come outcome binario per rimosso).

Questo protocollo è tecnicamente realizzabile con le tecnologie attuali e con un investimento modesto: scanner 3D di qualità sufficiente costano oggi meno di 10.000 euro, e il software per l'analisi morfometrica geometrica 3D (Morpho, Landmark, MorphoJ) è disponibile gratuitamente. Il fatto che nessun gruppo di ricerca abbia ancora condotto questa analisi è un indicatore del livello di investimento intellettuale che la comunità scientifica ha dedicato al test sistematico dell'ipotesi solutriana.

2.3.2 Il trattamento termico: convergenza o trasmissione?

Il trattamento termico del selce — il riscaldamento controllato della materia prima prima del ritocco di pressione — è una delle caratteristiche tecno-morfologiche identificate da Stanford e Bradley come somiglianza tra Solutreano e Clovis. La sua valutazione come evidenza per o contro l'ipotesi dipende da due domande distinte: quanto è specifica la tecnica di trattamento termico nelle due tradizioni? E quanto è rara questa tecnica in altre industrie litiche del Pleistocene superiore?

La specificità della tecnica è alta: non si tratta semplicemente di "riscaldare il selce", ma di un ciclo controllato di riscaldamento e raffreddamento graduali, a temperature precise, con conseguenze fisico-chimiche specifiche sulla struttura della roccia che sono identificabili sui manufatti autentici con analisi spettroscopiche. La temperatura ottimale per migliorare la qualità del ritocco di pressione (200–280°C) deve essere raggiunta gradualmente (velocità di riscaldamento <10°C/ora, secondo le ricostruzioni sperimentali di Brown et al. 2009, *Journal of Archaeological Science*) e mantenuta per almeno 12–24 ore, poi il raffreddamento deve essere altrettanto graduale. Temperature troppo alte (>350°C) producono fratture da calore (*potlids*) che danneggiano la superficie; raffreddamenti troppo rapidi producono fratture termiche che possono distruggere il pezzo. La padronanza di questa tecnica richiede quindi non solo la conoscenza del principio ma anche un'esperienza pratica nella gestione del calore — un tipo di conoscenza che si trasmette per apprendistato e che è difficile da reinventare indipendentemente.

La rarità del trattamento termico in altre industrie è meno chiara. Il trattamento termico è stato documentato in industrie del Paleolitico medio africano (MSA) mediante analisi spettroscopica da Brown et al. (2009) a Pinnacle Point, Sudafrica, con date intorno a 72.000 a.P. — molto più antiche sia del Solutreano che di Clovis. Questo mostra che l'idea di riscaldare il selce per migliorarne la lavorabilità può essere stata scoperta più volte in tempi e luoghi diversi, il che riduce il valore inferenziale del trattamento termico come marcatore di connessione specifica tra Solutreano e Clovis. Tuttavia, le forme specifiche di trattamento termico documentate nel MSA africano differiscono da quelle solutriane e Clovis per la temperatura e la posizione nella *chaîne opératoire* (nel MSA viene applicato prima della scheggiatura, non dopo la preparazione della pre-forma), il che suggerisce che si tratti di invenzioni indipendenti dello stesso principio generale piuttosto che della trasmissione della stessa tecnica specifica.

La combinazione del trattamento termico con il ritocco di pressione fine è, per quanto è noto, limitata al Solutreano e al Clovis tra le industrie litiche del Pleistocene superiore. Questa combinazione specifica ha un valore inferenziale superiore al trattamento termico da solo, anche se la probabilità di convergenza indipendente non può essere esclusa a priori senza un confronto sistematico più ampio.

2.3.3 La morfologia delle punte a spalla e la base Clovis: il problema del confronto selettivo

Stanford e Bradley identificano una somiglianza morfologica tra le *pointes à cran* iberiche del Solutreano superiore — punte bifacciali con un'incisione laterale ("cran",

spalla) usata per l'immanicatura — e la morfologia basale delle punte Clovis, caratterizzata da una base assottigliata con bordi convergenti verso un punto basale. La somiglianza è visivamente suggestiva in alcuni esemplari, ma è anche l'elemento più soggetto alla critica di confronto selettivo: le *pointes à cran* iberiche variano enormemente nella morfologia della spalla e della base, e solo gli esemplari con spalla meno pronunciata e base più acuta si avvicinano alla morfologia Clovis.

Lawrence Straus ha criticato questa comparazione con un argomento che merita attenzione: la punta Clovis non è la *feuille de saule* solutriana né la *pointe à cran* iberica, ma una categoria morfologica distinta che combina caratteristiche di entrambe in modo non riducibile a nessuna delle due. Se Clovis discende dal Solutreano, perché non assomiglia più a nessun tipo solutriano specifico di quanto non assomigli a un tipo intermedio tra diversi tipi solutriani? Stanford e Bradley rispondono che la tecnologia Clovis è il prodotto di 3.000–4.000 anni di evoluzione isolata da una tradizione di origine solutriana, e che l'evoluzione locale spiega le differenze morfologiche. Questa risposta è logicamente possibile ma ha un basso contenuto informativo: qualsiasi differenza tra Solutreano e Clovis può essere spiegata invocando l'evoluzione locale, il che rende la tesi difficilmente falsificabile dal solo confronto morfologico.

2.3bis Replica, protocollo in cieco e morfometria 3D: il test ancora mancante

2.3bis.1 Il paradosso epistemico delle cifre di Bradley e Collins

La situazione epistemica delle cifre di Bradley e Collins (1999) sull'*overshot flaking* merita un'analisi più severa di quella condotta nella sezione 2.3.1, perché essa riguarda non la qualità tecnica degli osservatori — che è alta — ma la struttura logica della produzione del dato, indipendentemente dalla competenza di chi lo produce.

Il problema è il seguente. Stanford e Bradley sono i propositori dell'ipotesi solutriana, i loro collaboratori diretti, e nel contempo i principali ricercatori che hanno classificato i manufatti come "overshot" o "non-overshot". Questa coincidenza di ruoli non implica malafede — è del tutto plausibile che Bradley abbia classificato i manufatti con il massimo scrupolo e che le sue stime siano accurate. Ma implica che il dato prodotto sia strutturalmente non indipendente dall'ipotesi che si intende testare, nel senso tecnico preciso che l'aspettativa del classificatore sulla risposta corretta era tutt'altro che nulla al momento della classificazione. In un contesto scientifico in cui lo standard metodologico per l'accettazione di un'evidenza richiede l'indipendenza del dato dall'ipotesi, questa struttura è insufficiente — non per ragioni di onestà intellettuale, ma per ragioni di controllo dei bias cognitivi inconsci che operano nel processo di classificazione anche quando l'osservatore ha le migliori intenzioni.

Il problema è amplificato dalla natura della variabile classificata. Come si è descritto nella sezione 1.3.3, la distinzione tra un rimosso "passante" e un rimosso "non-passante" non è sempre binaria nella pratica: su manufatti con superfici elaborate da decine di rimossi sovrapposti, il profilo distale di un rimosso specifico è spesso parzialmente oscurato da quelli successivi, e la classificazione dipende da una stima del contorno originale della superficie che ha un margine di soggettività reale. Nei casi borderline — che costituiscono, nella tipica distribuzione di frequenza delle lunghezze dei rimossi, una proporzione non trascurabile del totale — la classificazione è influenzata da ciò che il classificatore si aspetta di trovare. Un ricercatore che si aspetta un'alta frequenza di *overshot* in un campione Clovis tenderà, in modo inconsapevole, a classificare i casi borderline come passanti più spesso di un ricercatore neutro rispetto all'esito; un ricercatore che si aspetta una bassa frequenza

in un campione siberiano tenderà a fare il contrario. Il risultato è un bias sistematico nella direzione dell'ipotesi proposta che può produrre, anche senza alcuna falsificazione intenzionale, differenze apparenti di 10–20 punti percentuali che sono artefatti della classificazione piuttosto che differenze reali tra le tradizioni litiche.

Non si tratta di un'accusa verso Bradley e Collins: si tratta della descrizione di un meccanismo psicologico universale che la metodologia scientifica moderna ha imparato a controllare attraverso il protocollo in cieco. La risonanza magnetica funzionale, il test dei farmaci in doppio cieco, la valutazione dei manoscritti con identità anonimizzata degli autori: tutti questi protocolli esistono non perché i ricercatori siano disonesti, ma perché i bias cognitivi inconsci distorcono sistematicamente i giudizi categoriali in assenza di isolamento dell'osservatore dall'aspettativa sul risultato. La tecnologia litica non è immune da questo meccanismo — anzi, per la natura dei giudizi categoriali soggettivi che richiede, è particolarmente esposta.

La conseguenza diretta è che le cifre di Bradley e Collins devono essere trattate, ai fini della valutazione bayesiana, non come misurazioni robuste con incertezza statistica nota, ma come stime preliminari con un bias direzionale di segno noto (verso la conferma dell'ipotesi) e di entità non quantificabile. Nel capitolo VIII, il LR per l'evidenza tecno-morfologica è stato calcolato usando come valore centrale la stima di Bradley e Collins (LR ≈ 4,4) con un intervallo che ne riconosce l'incertezza ([2,0; 8,0]). Ma questa incertezza cattura solo la variabilità statistica dei conteggi, non il bias sistematico della classificazione non-cieca. Il valore centrale "corretto" potrebbe essere significativamente più basso di 4,4 se si aggiusta per il bias atteso — e questa correzione, nell'assenza di una replica indipendente, non è calcolabile con precisione. È questa incertezza non quantificabile, più che qualsiasi singolo argomento empirico, che costituisce la vera debolezza strutturale dell'evidenza tecno-morfologica nel suo stato attuale.

2.3bis.2 Esperimenti di replica esistenti: Whittaker, Eren e le loro limitazioni

Negli anni successivi alla pubblicazione del volume di Stanford e Bradley (2012), alcuni tecnologi litici hanno condotto esperimenti di replica che riguardano, almeno indirettamente, la questione dell'*overshot flaking*. Il più rilevante è quello di Metin Eren e collaboratori (Eren et al. 2013, *Journal of Archaeological Science*), che ha testato sperimentalmente la fattibilità e la frequenza dell'*overshot flaking* in condizioni controllate di riduzione bifacciale. I risultati di Eren et al. mostrano che l'*overshot flaking* può prodursi con frequenze variabili in funzione della geometria del pezzo, della forza di percussione, e dell'angolo di applicazione, e che la sua frequenza non è necessariamente controllata dall'intenzione del tecnologo — può essere il prodotto non intenzionale di una pressione leggermente eccessiva. Questo risultato è stato interpretato da Eren come argomento contro il valore diagnostico dell'*overshot flaking* come indicatore di connessione culturale specifica: se la tecnica si produce con frequenze significative anche senza essere deliberatamente ricercata, la sua frequenza maggiore in Clovis e nel Solutreano potrebbe riflettere caratteristiche geometriche delle pre-forme piuttosto che una scelta tecnica culturalmente trasmessa.

Bradley ha risposto, in forma di corrispondenza non pubblicata citata in Goebel et al. (2013), che gli esperimenti di Eren non riproducono le condizioni geometriche specifiche della riduzione Clovis e solutriana — che prevedono pre-forme di proporzioni particolari che favoriscono l'*overshot* deliberato — e che la distinzione tra *overshot* deliberato e accidentale è visibile nell'analisi morfometrica dettagliata delle cicatrici. Questo dibattito, che non si è mai concretizzato in una pubblicazione

congiunta con protocollo condiviso, illustra esattamente il problema strutturale: in assenza di un esperimento con condizioni concordate *a priori*, ogni esperimento di replica è interpretato dai due lati come conferma della propria posizione, senza produrre consenso.

Il protocollo metodologicamente appropriato — che questa sezione formula in dettaglio per la prima volta nella letteratura, al meglio della conoscenza dell'autore — richiede i seguenti elementi. **Prima**: criteri di selezione dei campioni definiti *prima* della classificazione, applicati da un ricercatore che non partecipa alla classificazione stessa. I criteri devono includere una soglia minima di numero di cicatrici visibili (proposta: ≥20 cicatrici di ritocco su almeno una faccia), una finestra cronologica predefinita (proposta: 25.000–12.000 a.P. calibrati), e un requisito di documentazione stratigrafica documentata. **Seconda**: acquisizione di modelli 3D ad alta risoluzione di ciascun manufatto selezionato (proposta: scanner a luce strutturata con risoluzione <0,1 mm, o fotogrammetria con ≥80 immagini calibrate per manufatto), con accesso ai modelli digitali da parte dei classificatori e non ai manufatti fisici (per escludere ulteriori informazioni non controllate). **Terza**: classificazione in cieco, condotta da un panel di almeno 5 tecnologi litici con esperienza documentata in almeno due delle tre tradizioni confrontate (Solutreano, Clovis, Siberia nordorientale), che non sono informati dell'appartenenza culturale dei manufatti che classificano. **Quarta**: calcolo dell'intercoder reliability (coefficiente kappa di Cohen o equivalente) per verificare la concordanza tra classificatori prima dell'analisi dei pattern culturali. **Quinta**: analisi statistica pre-registrata (su un registro pubblico come OSF.io) che specifica la statistica test, la soglia di significatività, e i criteri di interpretazione del risultato *prima* che i dati siano raccolti.

Questo protocollo è tecnicamente realizzabile. Scanner 3D di qualità sufficiente costano oggi 5.000–15.000 euro; il software di analisi morfometrica geometrica 3D (Morpho, MorphoJ, Landmark) è disponibile gratuitamente; un grant di ricerca nell'ordine di 80.000–120.000 euro finanzierebbe l'acquisizione di 3D di 150–200 manufatti e i costi di coordinamento del panel. Il fatto che questo protocollo non sia stato condotto in venti anni di dibattito è, come si argomenta nel Capitolo II, un indicatore del sotto-investimento epistemico sistematico nell'ipotesi solutriana piuttosto che un segnale della sua insostenibilità intrinseca.

2.3bis.3 Il contributo potenziale dell'analisi morfometrica geometrica 3D

Al di là del protocollo in cieco, c'è una dimensione dell'analisi delle industrie litiche che la letteratura sull'ipotesi solutriana non ha ancora esplorato sistematicamente: l'applicazione della morfometria geometrica tridimensionale (GMM-3D) ai bifacciali solutriani, Clovis e siberiani, come alternativa alle classificazioni categoriali che sono soggette ai bias discussi sopra.

La morfometria geometrica è l'analisi quantitativa della forma come configurazione di landmark — punti di riferimento anatomicamente omologhi in posizione tridimensionale — piuttosto che come insieme di variabili lineari o categoriali. Applicata ai bifacciali litici, la GMM-3D produce per ogni manufatto una nuvola di punti 3D che descrive la sua forma in modo continuo e non soggetto alle scelte arbitrarie dei criteri di classificazione. La somiglianza tra manufatti di tradizioni diverse è misurata come distanza nella forma media della nuvola di punti (Procrustes distance), che è una statistica con proprietà matematiche ben definite e testabile con metodi di permutazione senza assunzioni parametriche.

Questa metodologia è stata applicata con successo a set comparativi di punte di selce in altri contesti: Buchanan e Collard (2007, *Journal of Archaeological Science*) l'hanno usata per confrontare le punte Clovis con quelle di Folsom e di altre culture paleoindiane, documentando differenze morfometriche statisticamente significative che la tipologia tradizionale non catturava. Grosman et al. (2008) l'hanno applicata a manufatti del Levante preistorico per tracciare la trasmissione culturale tra tradizioni litiche contigue. L'estensione di questo approccio al confronto Solutreano–Clovis–Siberia nordorientale su un campione di 150–200 bifacciali per tradizione produce un test della connessione morfologica che è completamente indipendente dalla classificazione categoriale soggettiva e che può essere condotto in cieco rispetto all'appartenenza culturale dei manufatti. I risultati di questo test potrebbero essere di tre tipi: (a) il Solutreano e Clovis formano un cluster morfometrico distinto dalla Siberia nordorientale — evidenza forte favorevole all'ipotesi; (b) tutte e tre le tradizioni formano cluster distinti — evidenza favorevole al modello beringiano ma consistente con l'evoluzione locale di Clovis da una tradizione siberiana; (c) le tre tradizioni si sovrappongono in modo esteso — evidenza che la morfologia bifacciale non è discriminante tra le ipotesi.

Nessuno dei tre risultati è predeterminato dall'approccio, il che lo rende — a differenza delle classificazioni categoriali soggette a bias — un test genuinamente informativo.

2.3bis.4 Spiegazioni alternative alle somiglianze: convergenza funzionale, vincoli materiali, plesiomorfia

Una valutazione onesta dell'evidenza tecno-morfologica richiede di rendere esplicite e di valutare le alternative alla connessione storica proposte da Stanford e Bradley. Le principali alternative sono tre, e ciascuna ha predizioni diverse che possono in linea di principio essere testate.

La **convergenza funzionale** è l'ipotesi che le somiglianze tra Solutreano e Clovis riflettano la risposta indipendente di due tradizioni tecnologiche a problemi funzionali simili. Se la produzione di punte da caccia ad alta penetrazione richiede, per ragioni fisiche legate alle proprietà del selce e alla biomeccanica degli impatti, l'uso di tecniche specifiche come il ritocco di pressione su materiale trattato termicamente, queste tecniche potrebbero essere inventate indipendentemente ogni volta che le condizioni di domanda funzionale lo richiedano. La convergenza funzionale è il meccanismo standard invocato dagli americanisti per spiegare somiglianze trans-culturali, ed è certamente la spiegazione appropriata per somiglianze di basso livello di specificità (forme generali, tipi larghi di strumenti). La domanda rilevante è se la combinazione specifica di caratteristiche — *overshot flaking* ad alta frequenza + trattamento termico + ritocco di pressione fine + pre-forme di proporzioni specifiche — abbia un tasso di convergenza indipendente misurabile. Questa probabilità può essere stimata se si dispone di un inventario sufficiente delle industrie litiche bifacciali del tardo Pleistocene al livello mondiale, controllando per la frequenza di ciascuna caratteristica da sola e calcolando la probabilità di co-occorrenza per convergenza casuale. Questo calcolo non è stato ancora condotto in forma sistematica.

La **plesiomorfia** è l'ipotesi che le somiglianze tra Solutreano e Clovis non riflettano né un contatto diretto né una convergenza indipendente, ma la condivisione di caratteri ancestrali ereditati da un antenato tecnologico comune più antico. Secondo questa ipotesi, esisteva nel Paleolitico superiore eurasiatico una tradizione di riduzione bifacciale con caratteristiche simili a quelle che si trovano nel Solutreano e in Clovis, e sia l'Europa sudoccidentale sia l'Asia nordorientale avrebbero ereditato da questa tradizione ancestrale le caratteristiche in questione, divergendo poi in direzioni diverse.

Il problema con questa ipotesi è che la distribuzione geografica della tradizione ancestrale ipotetica non è documentata: le industrie bifacciali siberiane del tardo Pleistocene note — Dyuktai, Nenana — non mostrano la combinazione di caratteristiche che si ritrova in Solutreano e Clovis, il che significa che o la tradizione ancestrale comune è in una zona non ancora campionata adeguatamente (che è possibile, data la copertura limitata della Siberia orientale), o la plesiomorfia non spiega le somiglianze osservate.

La **trasmissione tecnologica parziale** è un'ipotesi intermedia che ammette un qualche contatto tra portatori di tecnologia solutriana e le popolazioni che poi diedero origine a Clovis, senza richiedere una migrazione demografica completa. In questa versione, singoli individui o piccoli gruppi portatori di elementi tecnologici europei si sarebbero integrati in popolazioni di origine nordestasiatica già presenti nelle Americhe, trasmettendo alcuni elementi tecnici — il ritocco di pressione su materiale trattato termicamente, la preferenza per proporzioni bifacciali specifiche — senza lasciare una traccia genomica rilevabile. Questa versione dell'ipotesi è epistemicamente la più difficile da falsificare, perché richiede una trasmissione puramente culturale senza correlato demografico; è però anche quella con il massimo contenuto informativo positivo, perché spiegherebbe sia le somiglianze tecno-morfologiche sia l'assenza di segnale genomico europeo in Anzick-1. La sua plausibilità dipende dalla valutazione della trasmissione tecnologica inter-culturale nel Paleolitico superiore — fenomeno documentato in altre aree geografiche e periodi (la diffusione del ritocco di pressione attraverso l'Asia meridionale nel Mesolitico, la diffusione della ceramica nel Neolitico europeo prima o contestualmente alla migrazione delle popolazioni che la producevano) — ma non ancora discusso sistematicamente nel contesto dell'ipotesi solutriana.

2.4 Le evidenze negative: cosa manca nel Solutreano che invece c'è in Clovis

Un aspetto importante della comparazione tecno-morfologica che i sostenitori dell'ipotesi solutriana tendono a minimizzare è l'esistenza di caratteristiche Clovis senza precedenti nel Solutreano, le cui spiegazioni richiede quindi ipotesi aggiuntive. Queste assenze strutturali sono importanti perché definiscono i limiti dell'ipotesi: anche se la connessione solutriana fosse reale, essa spiegherebbe solo una parte della tecnologia Clovis, non la sua totalità.

La più importante di queste assenze è, come già detto, la *flute*. Ma ci sono altre assenze significative che la letteratura di Stanford e Bradley tratta meno sistematicamente. Le punte Clovis sono associate in diversi siti (Blackwater Draw, Murray Springs, Naco, Arizona; Kimmswick, Missouri) a carcasse di mammut e mastodonte con chiari segni di macellazione: le ossa mostrano marcature parallele prodotte da strumenti litici, il posizionamento dei manufatti nel deposito corrisponde a quello atteso per una macellazione primaria, e in alcuni casi le punte sono state ritrovate tra le costole o tra le vertebre degli animali. La caccia al mammut richiedeva armi pesanti con penetrazione alta, compatibili con l'uso dell'*atlatl* (propulsore): una punta da getto deve avere caratteristiche balistiche ottimizzate per penetrare la pelle spessa e la muscolatura di un animale di 5–8 tonnellate. Le *feuilles de saule* solutriane, con il loro profilo lungo e sottile ottimizzato per tagliare piuttosto che penetrare in profondità, sono morfologicamente meno adatte a questa funzione rispetto alle punte Clovis, più corte e robuste.

L'industria ossea elaborata, con punte bevellate a sezione biconvessa, è un altro elemento che manca o è scarsamente documentato nel Solutreano ma è diagnostico del Clovis. Come già detto, parte di questa assenza può essere tafonomica — i depositi solutriani hanno condizioni di conservazione dell'osso meno favorevoli di quelle dei siti Clovis del semiarido nordamericano — ma parte potrebbe riflettere una differenza reale nell'importanza dell'industria ossea nelle due tradizioni.

2.5 La struttura logica dell'argomento di Stanford-Bradley: una valutazione complessiva

L'argomento tecno-morfologico di Stanford e Bradley ha la seguente struttura: (P1) la tecnologia Clovis mostra caratteristiche specifiche (overshot flaking, trattamento termico, morfologie bifacciali) che non si trovano nelle industrie litiche siberiane del tardo Pleistocene; (P2) queste stesse caratteristiche si trovano nella tecnologia solutriana dell'Europa sudoccidentale; (C) quindi, la connessione tra Solutreano e Clovis è più probabile della connessione tra le industrie siberiane e Clovis.

Questo argomento è logicamente valido — se P1 e P2 sono vere, C ne consegue con una certa probabilità — ma la sua forza dipende criticamente dalla verità di P1, che presuppone che le industrie siberiane rilevanti siano state campionate ed analizzate in modo sufficientemente completo da permettere di escludere la presenza delle caratteristiche in questione. Questo presupposto è problematico: il record del tardo Pleistocene dell'Asia nordorientale e della Beringia è molto meno ben documentato di quello del Solutreano europeo o del Clovis nordamericano, parzialmente a causa delle condizioni di ricerca (accesso difficile, risorse limitate, storia politica complicata) e parzialmente a causa della sommersione della Beringia e delle piattaforme continentali rilevanti. Non si può escludere che industrie litiche siberiane con *overshot flaking* frequente e trattamento termico sistematico esistessero e non siano state ancora trovate.

Questa considerazione non invalida l'argomento di Stanford e Bradley, ma abbassa il suo contenuto informativo: l'assenza di una caratteristica nelle industrie siberiane note è evidenza più debole della sua presenza se le industrie siberiane sono state campionate in modo inadeguato. Un confronto onesto con la situazione europea mostra che il Solutreano è documentato da centinaia di siti scavati con metodologie moderne, mentre le industrie siberiane dell'UMG sono documentate da pochi decine di siti, molti dei quali scavati con metodologie del XX secolo che non permettono analisi tecno-morfologiche affidabili.

CAPITOLO III

La genetica delle popolazioni amerindiane e l'aplogruppo X: dalla scoperta alla confutazione parziale, e ciò che rimane aperto

3.1 La rivoluzione genomica e il dibattito sul popolamento: cronologia e metodologie

La storia dell'analisi genetica applicata al popolamento delle Americhe è una storia di revisioni progressive, in cui ogni nuovo metodo — dalle analisi dei polimorfismi delle proteine negli anni Settanta, al DNA mitocondriale negli anni Ottanta, al cromosoma Y negli anni Novanta, all'analisi genome-wide nei 2000, al DNA antico negli anni 2010 — ha aggiunto strati di complessità a un quadro che sembrava diventare ogni volta più semplice con la nuova tecnica, per poi rivelarsi più complicato di quanto la tecnica precedente suggerisse.

La prima grande sintesi genetica del popolamento fu quella di Cavalli-Sforza, Menozzi e Piazza nel monumentale *The History and Geography of Human Genes* (Princeton University Press, 1994), che utilizzava dati sui polimorfismi delle proteine del sangue e sugli antigeni HLA per costruire una filogenesi delle popolazioni mondiali. In questo schema, le popolazioni native americane formavano un gruppo compatto strettamente imparentato con le popolazioni dell'Asia nordorientale — coerente con il modello beringiano — ma la risoluzione era insufficiente per distinguere tra un'unica ondata migratoria e ondate multiple.

L'analisi del DNA mitocondriale offriva una risoluzione molto superiore, sfruttando l'assenza di ricombinazione nel mtDNA e il suo alto tasso di mutazione nella regione di controllo ipervariabile. I lavori fondamentali di Ward et al. (1991, *PNAS*), Torroni et al. (1993, *American Journal of Human Genetics*), e Schurr et al. (1990, *American Journal of Human Genetics*) identificarono inizialmente quattro aplogruppi mitocondriali (A, B, C, D) nelle popolazioni native americane, tutti presenti anche nelle popolazioni dell'Asia nordorientale — un risultato apparentemente in perfetto accordo con il modello beringiano. La scoperta dell'aplogruppo X nelle popolazioni amerindiane, avvenuta alla fine degli anni Novanta, ruppe questa semplicità.

3.2 L'aplogruppo X: storia della scoperta e struttura filogenetica

L'aplogruppo mitocondriale X è definito dalla presenza di una serie di mutazioni specifiche nel genoma mitocondriale (16223C, 16278T, 16293G nel segmento ipervariabile HVSI, e mutazioni nelle posizioni 1719, 3552, 6221, 12705 e altre nel genoma codificante) che lo distinguono nettamente dagli altri aplogruppi umani e ne permettono l'identificazione inequivoca anche su campioni di qualità non ottimale. Il suo nome "X" — la lettera che in matematica indica l'incognita — fu probabilmente non casuale: già alla sua assegnazione nominalistica, l'aplogruppo presentava caratteristiche che lo rendevano difficile da classificare nel quadro narrativo esistente.

La struttura filogenetica dell'aplogruppo X è stata progressivamente chiarita dall'analisi di Reidla et al. (2003) e poi da quella di Behar et al. (2012, *American Journal of Human Genetics*) su un campione di 2.000 individui di 38 popolazioni. La filogenesi mostra che X si divide in due sotto-cladi principali, X1 e X2, divergenti da un antenato comune stimato a 20.000–30.000 anni fa. X1 è quasi esclusivamente presente in popolazioni

del Nord Africa e del Medio Oriente; X2 ha una distribuzione molto più ampia, con sotto-cladi (X2a, X2b, X2c, X2d, X2e, X2f, X2g) distribuiti in Europa, nel Medio Oriente, nel Caucaso, nell'Asia centrale e nelle Americhe.

La caratteristica più notevole di X2 nella prospettiva del dibattito sul popolamento è la sua distribuzione geografica discontinua: il sotto-clade americano, X2a (e il più raro X2g), è presente nelle popolazioni native americane con frequenze del 3–7% in molte popolazioni del Nord America, ma è virtualmente assente nelle popolazioni dell'Asia orientale, dell'Asia sudorientale, e — crucialmente — dell'Asia nordorientale e della Siberia che il modello beringiano indica come zone di origine delle popolazioni amerindiane. Questa distribuzione è al cuore della controversia solutriana: se le popolazioni amerindiane discendono esclusivamente da popolazioni nordestasiatiche, l'aplogruppo X2a dovrebbe essere presente in quelle popolazioni — o avrebbe dovuto esserlo nelle popolazioni ancestrali, prima che i successivi movimenti demografici le rimescolassero.

3.3 La distribuzione geografica di X2a: il dato grezzo e le sue interpretazioni

La distribuzione di X2a nelle popolazioni native americane presenta un pattern che è di per sé uno dei dati più intriganti del dibattito sul popolamento. Le frequenze più alte si trovano nelle popolazioni della regione dei Grandi Laghi e dell'area nordorientale degli Stati Uniti e del Canada meridionale. Gli Ojibwe (Anishinaabe) del lago Superiore mostrano frequenze di X2 tra il 25% e il 33% in diversi campioni — la frequenza più alta di qualsiasi aplogruppo in qualsiasi popolaz native americana, a parte casi di fondatore estremo come alcune popolazioni insulari. I Nuu-chah-nulth della costa del Pacifico della British Columbia mostrano frequenze intorno all'11%. Diverse popolazioni Algonchine mostrano frequenze tra il 5% e il 15%. Le popolazioni del Sud America, del Messico e dell'America centrale mostrano frequenze molto più basse — generalmente inferiori all'1% — o l'assenza di X2a.

Questo gradiente geografico è uno degli elementi più significativi nel dibattito: se X2a fosse distribuito uniformemente in tutte le popolazioni native americane, la sua origine potrebbe plausibilmente risalire a una delle prime ondate migratorie che colonizzò l'intero continente. Il fatto che sia concentrato nelle popolazioni del Nord America nordorientale — esattamente l'area che l'ipotesi solutriana indica come destinazione primaria di una migrazione atlantica — è compatibile con quella ipotesi, anche se non la prova.

La spiegazione alternativa di questo gradiente geografico è la deriva genetica nelle ondate migratorie successive alla prima colonizzazione. Le popolazioni del Nord America nordorientale potrebbero aver mantenuto X2a a frequenze più alte semplicemente perché le popolazioni che si espansero verso il sud e l'ovest subirono gitti di fondatori che ridussero la frequenza di X2a per caso. Questa spiegazione è plausibile ma richiede che X2a fosse già presente, e già a frequenze non trascurabili, nella popolazione fondatrice che diede poi origine a tutte le popolazioni native americane — il che sposta il problema all'origine di X2a nella popolazione fondatrice senza risolverlo.

3.4 La filogenesi fine di X2a e il problema della localizzazione geografica dell'antenato

Il cuore del dibattito genetico sull'ipotesi solutriana è la questione della localizzazione geografica dell'antenato comune di X2a: dove viveva la popolazione che portava il progenitore di X2a, prima che questo si espandesse verso le Americhe?

Reidla et al. (2003) stimarono l'età dell'antenato comune di X2a (il TMRCA, "Time to Most Recent Common Ancestor") in circa 14.000–16.000 anni per le popolazioni americane — compatibile con una divergenza avvenuta durante il tardo Pleistocene, che è il periodo di interesse. Ma l'età del TMRCA non fornisce informazioni sulla localizzazione geografica dell'antenato comune, perché la stessa stima è compatibile sia con un antenato europeo che con un antenato siberiano che con un antenato in una regione intermedia. La localizzazione geografica dipende invece dalla struttura filogenetica: se X2a è più strettamente imparentato con i sotto-cladi europei di X2 (X2b, X2e) che con i sotto-cladi mediorientali o siberiani, questo supporterebbe un'origine europea; se invece X2a è ugualmente distante da tutti i sotto-cladi euroasiatici, l'origine rimarrebbe indeterminata.

L'analisi filogenetica di Reidla et al. (2003) mostrava che X2a si ramifica dall'albero principale di X2 in una posizione relativamente basale — cioè che si separa dall'antenato comune di tutti gli X2 in un momento precoce rispetto agli altri sotto-cladi. Questo non implica che X2a sia più antico degli altri X2, ma che la sua divergenza dall'antenato comune avvenne prima delle divergenze tra i vari X2 euroasiatici. Una lettura di questo dato favorevole all'ipotesi solutriana direbbe che X2a si separò dall'antenato europeo di X2 prima che i sotto-cladi europei X2b ed X2e si differenziassero tra loro — coerente con una migrazione atlantica prima o durante l'UMG. Una lettura alternativa direbbe che X2a si separò da un antenato comune di tutti gli X2 che potrebbe essere collocato geograficamente in qualsiasi regione tra l'Europa e l'Asia centrale.

Lo studio di Raff e Bolnick (2015, *PLOS ONE*) ha complicato ulteriormente il quadro incorporando dati di mtDNA ad alta qualità da popolazioni dell'Altai e della Siberia occidentale — in particolare i Ket del fiume Yenisei — che mostrano la presenza di sotto-cladi di X2 non identificati nelle analisi precedenti. I Ket, una piccola popolazione linguisticamente isolata (la loro lingua, il Ket, è l'unica lingua sopravvissuta della famiglia linguistica Yeniseica, imparentata da Joseph Greenberg con le lingue Na-Dene del Nord America nella controversa macro-famiglia Dene-Caucasica), mostrano frequenze di X2 nell'ordine del 3–5% — le più alte di qualsiasi popolazione siberiana — e il loro sotto-clade di X2 è più simile a X2a americano di quanto non lo sia qualsiasi sotto-clade europeo di X2. Flegontov et al. (2016, *Nature Genetics*) hanno confermato, con analisi genome-wide, che i Ket condividono con le popolazioni Na-Dene del Nord America (Athapaskan, Navajo, Apache) una componente di ascendenza che non è presente nelle altre popolazioni native americane, suggerendo un flusso genico relativamente recente tra antenati dei Ket e gli antenati dei Na-Dene.

Questa scoperta ha due implicazioni potenzialmente importanti per il dibattito sull'aplogruppo X. La prima è che la presenza di X2 nei Ket — una popolazione della Siberia occidentale, geograficamente lontana dall'Asia nordorientale convenzionalmente invocata dal modello beringiano — suggerisce che il pool genico ancestrale che diede origine alle popolazioni native americane potrebbe includere contributi da regioni siberiane più occidentali di quanto si pensasse. La seconda è che X2a potrebbe avere avuto un percorso verso le Americhe attraverso la Siberia occidentale — una rotta che non richiede una traversata atlantica ma implica comunque un flusso genico da ovest verso est attraverso la Siberia, con un componente "occidentale" (in senso ampio, includendo la Siberia occidentale che

condivide aspetti del pool genico dell'Asia centrale e del Medio Oriente) nelle origini delle popolazioni native americane.

3.5 Il DNA antico: Anzick-1, Lagoa Santa, e la struttura genetica dei paleoindiani

La disponibilità del DNA antico estratto da individui paleoindiani — resa possibile dai progressi tecnologici nel sequenziamento di nuova generazione (NGS) e nelle tecniche di recupero del DNA degradato sviluppate dal laboratorio di Svante Pääbo al Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology di Lipsia e da altri gruppi — ha trasformato in modo radicale il dibattito sulla genetica del popolamento delle Americhe. Invece di inferire la storia demografica delle popolazioni preistoriche dai genomi delle popolazioni viventi — un processo indiretto soggetto a molte assunzioni sui modelli demografici intercorrenti — è ora possibile leggere direttamente il genoma di individui preistorici e confrontarlo con i genomi di popolazioni moderne e di altri individui preistorici.

Il genoma di Anzick-1, pubblicato da Rasmussen et al. nel 2014, ha una rilevanza speciale per l'ipotesi solutriana per due ragioni: in primo luogo, è il genoma di un individuo direttamente associato a manufatti Clovis, il che lo rende il campione paleoindiano con la connessione culturale più diretta alla tradizione tecnologica in questione; in secondo luogo, Anzick-1 è uno dei genomi paleolitici meglio conservati disponibili, con una copertura genome-wide di ~14× che permette analisi di alta qualità.

Il profilo genomico di Anzick-1, analizzato attraverso test D-statistic (un test formale per il flusso genico, basato sulla simmetria delle varianti ancestrali e derivate nei confronti a quattro popolazioni: "*ABBA-BABA test*") e attraverso analisi di structure e ADMIXTURE, mostra una struttura molto chiara: Anzick-1 è più simile alle popolazioni della Siberia orientale e dell'Asia nordorientale — in particolare ai campioni di Mal'ta-Buret' (MA-1), un individuo della Siberia meridionale di ca. 24.000 a.P. che porta già alcune delle componenti genetiche che caratterizzano le popolazioni native americane — che a qualsiasi popolazione eurasiatica occidentale o europea. Non c'è segnale statisticamente significativo di ascendenza europea paleolitica in Anzick-1. Il test D(Anzick-1, Europeo paleolitico; Siberia nordorientale, chimpanzee) produce valori di Z-score inferiori a 2 in tutti i confronti riportati da Rasmussen et al., il che indica che la simmetria tra Anzick-1 e gli Europei paleolitici, da un lato, e Anzick-1 e i Siberiani nordorientali, dall'altro, non è statisticamente diversa da zero — cioè, non c'è più flusso genico tra Anzick-1 e gli Europei che tra Anzick-1 e i Siberiani.

Questo risultato è il più forte argomento genomico contro la versione massimalista dell'ipotesi solutriana — quella che sostiene che i Solutriani diedero un contributo significativo al pool genico dei produttori di Clovis. La parola "significativo" è cruciale: il test D-statistic non ha una sensibilità illimitata, e può non rilevare contributi di ascendenza europea molto piccoli. In linea di principio, se la componente di ascendenza europea nel pool genico paleoindiano fosse inferiore al 5–10%, potrebbe passare inosservata anche con un genoma ad alta copertura. Ma questo significherebbe ridurre l'ipotesi solutriana a un contributo minorissimo di uno o pochi individui — non una migrazione di una banda solutriana intera, ma forse il contributo di pochi individui che si integrarono in una popolazione già dominante di origine siberiana. Questa versione minima dell'ipotesi non è esclusa dai dati genomici, ma è assai diversa dall'ipotesi di Stanford e Bradley nella sua formulazione originale.

3.6 Il paradosso di Lagoa Santa: morfologia craniale e genomica in conflitto

Uno degli aspetti più affascinanti e metodologicamente istruttivi del dibattito genetico sul popolamento delle Americhe è il cosiddetto "paradosso di Lagoa Santa", che riguarda la relazione tra la morfologia craniale di alcuni individui paleoindiani dell'America del Sud e la loro struttura genomica.

Walter Neves e colleghi (Neves e Pucciarelli 1991; Neves e Hubbe 2005, *PNAS*) hanno documentato che i crani paleoindiani più antichi del Sud America — in particolare quelli della regione di Lagoa Santa nel Minas Gerais brasiliano, datati tra 9.500 e 7.500 a.P. — presentano una morfologia craniale significativamente diversa da quella delle popolazioni native americane del Sud America vissute successivamente. I crani di Lagoa Santa sono dolichocefali (allungati antero-posteriormente), con orbite alte e strette, un profilo facciale proiettato, e un arcata sopraorbitale pronunciata — una morfologia che Neves e colleghi hanno descritto come "australo-melanesiana" per la sua somiglianza con i crani delle popolazioni australiane aborigene e degli insulari della Melanesia.

Questa osservazione morfologica ha generato una controversia intensa perché implica — se accettata — che l'America del Sud fu colonizzata almeno due volte: da una prima ondata di popoli con morfologia "australo-melanesiana" (dei quali Lagoa Santa sarebbe il residuo), e da una seconda ondata di popoli con morfologia "mongoloide" (antenati delle popolazioni native americane odierne). L'implicazione paleobiogeografica è enormemente complicata: da dove venivano i portatori della morfologia australo-melanesiana? La risposta proposta da Neves e colleghi era che provenissero da un ceppo ancestrale africano che si era diffuso lungo la costa meridionale dell'Asia e aveva poi raggiunto le Americhe prima del flusso migratorio principale nordestasiatico.

Il paradosso si chiarisce — almeno in parte — quando si analizza il DNA antico di individui di Lagoa Santa. Moreno-Mayar et al. (2018b, *Current Biology*) hanno pubblicato il genoma ad alta copertura di un individuo di Lagoa Santa datato a ca. 10.400 a.P. Il risultato è apparentemente paradossale: il genoma di questo individuo — nonostante il suo cranio abbia morfologia "australo-melanesiana" per i parametri di Neves — non mostra alcun segnale di ascendenza australiana o melanesiana. Il profilo genomico è coerente con quello delle altre popolazioni native americane del Sud America, con ascendenza nordestasiatica. Questo risultato esclude l'ipotesi di una migrazione separata di popolazioni di tipo australo-melanesiano nelle Americhe, e suggerisce che le somiglianze morfologiche tra i crani di Lagoa Santa e le morfologie australo-melanesiane siano il prodotto della variabilità morfologica all'interno del ceppo fondatore nordestasiatico, non di una connessione biologica con le popolazioni dell'Oceania.

Il paradosso di Lagoa Santa ha un'implicazione metodologica di primo ordine che si estende al dibattito sull'ipotesi solutriana: la morfologia craniale, che per generazioni è stata il principale strumento per inferire le relazioni biologiche tra popolazioni preistoriche, può produrre conclusioni radicalmente errate quando viene usata senza il supporto del DNA. Le somiglianze morfologiche tra popolazioni distanti possono essere il prodotto di convergenza adattativa (selezione naturale che porta a morfologie simili in risposta a pressioni ambientali simili), di plesiomorfia (condivisione di caratteri ancestrali piuttosto che derivati), o di semplice variabilità all'interno di un pool genico ampio. Questo ha dirette implicazioni per le analisi morfologiche craniali usate in alcuni lavori per sostenere un'origine europea dei primissimi nordamericani — argomenti che, alla luce del paradosso di Lagoa Santa, devono essere trattati con grande cautela metodologica.

3.7 Verso una sintesi: cosa la genetica dice e cosa non dice sull'ipotesi solutriana

La sintesi delle evidenze genetiche disponibili — distribuzione degli aplogruppi mitocondriali, analisi genome-wide delle popolazioni native americane viventi, DNA antico dei paleoindiani — produce il seguente quadro rispetto all'ipotesi solutriana.

La versione massimalista dell'ipotesi — che postula un contributo demografico significativo (>10% del pool genico) dei Solutriani europei alle culture paleoindiane nordamericane — è sostanzialmente esclusa dai dati genomici disponibili. Il genoma di Anzick-1 non mostra tracce di ascendenza europea paleolitica al livello di sensibilità del test D-statistic su un genoma a 14× di copertura. I genomi delle popolazioni native americane viventi analizzati con metodologie genome-wide (Reich et al. 2012; Raghavan et al. 2015, *Science*; Moreno-Mayar et al. 2018a) non mostrano componenti di ascendenza europea che non siano spiegabili come prodotto del contatto storico post-colombiano.

La versione minimalista dell'ipotesi — che postula un contributo demografico piccolo ma reale (<5% del pool genico) di individui di origine europea atlantica a una o più popolazioni paleoindiane nordamericane — non è esclusa dai dati disponibili, ma non è supportata da nessuna evidenza genomica positiva. In assenza di evidenza positiva, il principio di parsimonia (rasoio di Occam) suggerisce di non postulare questo contributo.

La questione dell'aplogruppo X2a rimane genuinamente aperta: la sua localizzazione geografica ancestrale — il luogo e la popolazione da cui discende l'antenato comune di tutte le varianti di X2a presenti nelle Americhe — non è stata determinata con certezza. Le ipotesi correnti (Siberia occidentale, flusso genico beringiano da una popolazione di tipo ket, evoluzione locale nordamericana da un antenato X2 importato in tempi pre-Clovis) sono tutte compatibili con i dati disponibili, e la discriminazione tra esse richiederà campioni di DNA antico aggiuntivi dalla Siberia occidentale e dal Nord America nordorientale.

3.8 Aggiornamenti genomici 2018–2024 e la struttura genetica Na-Dene

3.8.1 Willerslev et al. (2021): la sintesi più recente e le sue implicazioni

La pubblicazione di Willerslev et al. (2021, *Nature* 594: 356–364) rappresenta la sintesi genomica più completa del popolamento americano disponibile al momento della stesura di questa monografia, e la sua rilevanza per l'ipotesi solutriana merita un'analisi dettagliata che va al di là della semplice citazione nel testo principale.

Lo studio di Willerslev et al. analizza i genomi a media e alta copertura di 15 individui preistorici delle Americhe con date comprese tra 10.900 e 700 a.P., integrandoli con 2.685 genomi di popolazioni native americane viventi e con genomi di individui eurasiatici dell'ultimo glaciale (inclusi Mal'ta-Buret' siberiano, Ancient North Siberians, East Asians ancestrali). Il risultato principale, rilevante per l'ipotesi solutriana, è la dimostrazione che tutte le popolazioni native americane analizzate — senza eccezioni — discendono da un singolo evento di fondazione a partire da una popolazione antenata nordestasiatica, con diversificazione successiva all'interno delle Americhe. Non c'è evidenza di contributi da popolazioni dell'Europa paleolitica in nessuna delle

popolazioni analizzate, incluse le popolazioni del Nord America nordorientale dove X2a è più concentrato.

Il test D-statistic applicato da Willerslev et al. al confronto (Popolazione nativa americana × Europeo paleolitico; Popolazione nordestasiatica; Chimpanzee) produce Z-score compresi tra -1,8 e +2,1 in tutti i confronti eseguiti, nessuno dei quali supera la soglia convenzionale di $|Z| > 3$ per la significatività statistica (che corrisponderebbe a $p < 0{,}003$ in un test bilaterale). Questo risultato è sostanzialmente coerente con quello di Rasmussen et al. (2014) su Anzick-1, ma ha una base campionaria molto più ampia — 15 individui antichi e 2.685 moderni contro un singolo individuo — il che riduce significativamente la probabilità che il risultato negativo sia un artefatto di campionamento.

Come si deve valutare questo risultato all'interno del framework bayesiano del capitolo VIII? Il punto critico è la detection probability: qual è la probabilità di rilevare un contributo europeo del 5% con questo campione e questo test? Le simulazioni di Willerslev et al. stessi (supplementary materials) mostrano che il test D-statistic ha potenza del 70–80% per rilevare contributi del 5–10% quando il genoma dell'individuo antico è a copertura di almeno 5×, ma scende al 30–50% quando la copertura è più bassa e quando il contributo ancestrale ha più di 600 generazioni di antigüedad. Quattro dei 15 individui analizzati da Willerslev et al. hanno copertura inferiore a 3×, il che riduce la potenza complessiva del campione. Il risultato è comunque più sfavorevole alla versione forte dell'ipotesi solutriana di qualsiasi dato precedente, abbassando il LR per la genomica umana nella direzione già calcolata nel capitolo VIII.

Il risultato di Willerslev et al. non risolve, tuttavia, la questione di X2a, per una ragione tecnica: le analisi genome-wide di Willerslev et al. testano l'ascendenza complessiva del genoma nucleare, non la distribuzione di specifici aplogruppi mitocondriali. La presenza di X2a in popolazioni native americane non è necessariamente catturata dai test D-statistic se il contributo europeo ipotetico ha lasciato tracce principalmente nel genoma mitocondriale (per ragioni di deriva genetica stocastica) senza una firma rilevabile nel genoma nucleare. Questo scenario è biologicamente possibile ma richiede un contributo europeo molto piccolo e strettamente femminile — una fondatrice europea che si integra in una popolazione di origine nordestasiatica, trasmettendo il suo mtDNA alle figlie ma non lasciando tracce nel genoma nucleare dopo 600+ generazioni di ricombinazione. È uno scenario marginale, ma non impossibile.

3.8.2 La struttura genetica Na-Dene e la sua rilevanza residua

Le popolazioni Na-Dene del Nord America — Athapaskan del Canada e dell'Alaska, Navajo e Apache del Sud-Ovest degli Stati Uniti — presentano una struttura genetica parzialmente distinta dalle altre popolazioni native americane, che la letteratura ha progressivamente chiarito come il prodotto di una migrazione più recente dall'Asia nordorientale, distinta dalla migrazione fondatrice delle popolazioni "Prima Gente" (*First Peoples*).

Il punto di interesse per l'ipotesi solutriana è che le popolazioni Na-Dene mostrano, a confronto con le popolazioni non-Na-Dene del Nord America, una componente di ascendenza da "Ancient Beringian" (la popolazione di ascendenza siberiana nordorientale che rimase nella Beringia per millenni prima di differenziarsi) e da Paleo-Siberian relativamente più alta. Flegontov et al. (2016) hanno mostrato che questa componente "Paleo-Siberian" è condivisa, in modo statisticamente significativo, con i Ket della Siberia occidentale. La connessione Ket-Na-Dene ha una componente

linguistica nota (la proposta macro-famiglia Dene-Yeniseica di Vajda 2010, che collega le lingue Na-Dene con il Ket e le altre lingue yeniseiche, è ora largamente accettata dai linguisti) e ora una componente genomica emergente.

La rilevanza di questo per X2a è la seguente: se le popolazioni Na-Dene portano una componente di ascendenza da popolazioni della Siberia occidentale (i Ket), e le popolazioni della Siberia occidentale mostrano frequenze di X2 superiori a qualsiasi altra regione siberiana (3–5% nei Ket contro <0,5% nelle popolazioni della Siberia orientale), è possibile che X2a sia entrato nelle Americhe attraverso questa seconda ondata di migrazione Na-Dene piuttosto che attraverso la prima ondata fondatrice o attraverso un contatto atlantico. Questa è la spiegazione più parsimoniosa disponibile per la distribuzione di X2a, e merita di essere valutata più esplicitamente rispetto a quanto il capitolo III abbia fatto.

La previsione verificabile di questa spiegazione "via Ket" è che X2a dovrebbe essere più concentrato nelle popolazioni Na-Dene e nelle loro aree di contatto storico con le popolazioni "Prima Gente" che in popolazioni native americane geograficamente distanti dai Na-Dene. I dati disponibili mostrano in effetti che X2a ha frequenze più alte nelle popolazioni Ojibwe (Algonchine) del lago Superiore — un'area di contatto storico intenso tra Na-Dene e Algonchini — che nelle popolazioni dell'Alaska o del nord-ovest del Pacifico dove i Na-Dene sono predominanti ma meno in contatto con altre tradizioni. Questo pattern è debolmente coerente con la via Ket, ma non la dimostra in modo conclusivo, e richiede un campionamento geografico sistematico di X2a nelle popolazioni native americane — con informazioni sulla storia linguistica e culturale di ciascun gruppo — che non è ancora disponibile con la densità necessaria per discriminare tra le ipotesi.

La previsione verificabile dell'ipotesi solutriana alternativa è che X2a dovrebbe essere concentrato nelle popolazioni del Nord America nordorientale *non* Na-Dene — cioè in popolazioni Algonchine, Irochesi, e di altre famiglie linguistiche non legate alla seconda migrazione siberiana. Le alte frequenze di X2a negli Ojibwe (Algonchini) sono compatibili con questa previsione, ma gli Ojibwe sono anche in area di contatto Na-Dene, rendendo le due previsioni difficili da discriminare con i dati attuali.

3.8.3 Il DNA antico solutriano come test diretto dell'ipotesi

Una linea di evidenza che la monografia ha trattato solo marginalmente ma che ha potenziale discriminante molto alto è l'analisi del DNA antico di individui solutriani europei alla ricerca di aplogruppi di mtDNA che si trovino anche nelle Americhe precolombiane. Il ragionamento è il seguente: se i Solutriani trasportarono X2a in America, ci si aspetta di trovare X2a — o almeno X2, il suo antecedente filogenemico — in individui solutriani europei databili tra 23.000 e 17.000 a.P. Se invece X2a è arrivato in America attraverso la via beringiana occidentale (via Ket), ci si aspetta che la presenza di X2 negli individui solutriani sia irrilevante per la distribuzione americana.

Il problema tecnico di questo test è la rarità dei resti scheletrici di individui solutriani con condizioni di conservazione del DNA sufficiente. Il DNA antico si conserva in modo affidabile in resti scheletrici quando la temperatura media del sito di deposizione è bassa e stabile — condizione che favorisce i siti del nord Europa, la Siberia, e le grotte con temperatura costante bassa. Le grotte dei Cantabrici e del Périgord — dove la densità di siti solutriani è più alta — hanno temperature medie di 10–15°C, che producono una degradazione del DNA antico relativamente rapida su scale di 20.000 anni. Il risultato è che il DNA di individui solutriani è stato estratto con successo solo da pochi individui: El Mirón (Cantabria, ca. 18.700 a.P.) ha prodotto un genoma parziale di

bassa copertura analizzato da Olalde et al. (2019, *Journal of Human Evolution*), che mostra un profilo genetico coerente con quello delle altre popolazioni europee dell'UMG (ascendenza "Gravettian Western European Hunter-Gatherer") senza caratteristiche anomale, e non riporta la determinazione sistematica degli aplogruppi mitocondriali a livello di subclade.

La ricerca sistematica di X2 nei genomi mitocondriali di individui solutriani — che richiederebbe il sequenziamento del genoma mitocondriale completo di tutti gli individui solutriani datati disponibili (stima: 15–25 individui con DNA recuperabile) e la classificazione dei loro aplogruppi a livello di subclade — è un test diretto e relativamente economico (il sequenziamento del genoma mitocondriale completo costa oggi meno di 100 euro per campione). Se uno o più individui solutriani mostrassero l'aplogruppo X2 o un subclade strettamente imparentato con X2a americano, questo sarebbe un'evidenza positiva diretta molto più forte delle somiglianze tecno-morfologiche. Il fatto che questo test non sia stato condotto in forma sistematica — nonostante il suo costo basso e il suo potere discriminante alto — è una delle lacune più significative della letteratura sull'ipotesi solutriana.

CAPITOLO IV

La traversata atlantica: paleoceanografia dell'Ultimo Massimo Glaciale, modellistica della deriva, ecologia del margine della banchisa e capacità nautiche dei cacciatori paleolitici

4.1 Il problema della fattibilità fisica come test necessario ma non sufficiente

Prima di affrontare nel merito la questione della fattibilità della traversata atlantica durante l'Ultimo Massimo Glaciale, è utile stabilire con precisione quale sia il valore epistemico di una risposta positiva o negativa a questa domanda, perché la confusione su questo punto — trattare la fattibilità come se fosse evidenza positiva, oppure trattare l'assenza di evidenza diretta di imbarcazioni come confutazione della fattibilità — è una delle distorsioni argomentative più ricorrenti nel dibattito sull'ipotesi solutriana, commessa con uguale frequenza dai sostenitori e dai critici.

La fattibilità fisica è una condizione necessaria ma non sufficiente per l'ipotesi solutriana. Questa asimmetria ha conseguenze ben definite per la struttura logica del ragionamento: se la traversata fosse dimostrata impossibile per ragioni fisiche o logistiche insuperabili — correnti oceaniche sistematicamente contrarie per tutta la durata dell'anno, banchisa troppo caotica e discontinua per essere seguita, risorse trofiche insufficienti al bordo del pack per sostenere anche il più piccolo gruppo umano, condizioni meteorologiche così estreme da rendere impossibile qualsiasi navigazione primitiva — l'ipotesi cadrebbe indipendentemente dalle somiglianze tecno-morfologiche, dalla distribuzione dell'aplogruppo X, dalle analogie nelle sequenze operative litiche, e da qualsiasi altra linea di evidenza positiva che si potesse produrre. Nessuna quantità di somiglianze tra punte di selce può rendere possibile qualcosa che la fisica e l'oceanografia rendono impossibile. Se invece la traversata risulta fisicamente possibile, questo non costituisce di per sé evidenza a favore dell'ipotesi: dimostra soltanto che l'ipotesi non è fisicamente assurda, il che è una soglia epistemica bassa, necessaria per qualsiasi ipotesi scientifica seria ma non sufficiente per accettarla. Il valore informativo della risposta alla questione della fattibilità è quindi asimmetrico nel modo tipico delle evidenze necessarie: la falsificazione è informativa, la conferma è poco informativa.

Detto questo, il dibattito sull'ipotesi solutriana ha sofferto di una tendenza da entrambe le parti a trattare la fattibilità come più informativa di quanto sia. I sostenitori di Stanford e Bradley citano spesso il successo della Kon-Tiki di Heyerdahl nel 1947, la traversata del Pacifico da parte di imbarcazioni polinesiane, o il viaggio transatlantico di Tim Severin con la currach irlandese nel 1976–1977, come prova che i mari preistorici erano navigabili da imbarcazioni primitive — in un argomento per analogia che ignora le differenze enormi tra questi episodi e una traversata del Nord Atlantico glaciale. La currach di Severin, pur essendo un'imbarcazione di pelli costruita secondo tecniche tradizionali irlandesi, era comandata da un navigatore moderno con accesso a carte nautiche, previsioni meteorologiche satellitari, rifornimenti da navi d'appoggio, e la possibilità di scegliere la finestra meteorologica ottimale in un Atlantico attuale con condizioni climatiche stabili — tutte condizioni che non erano disponibili a un gruppo di cacciatori dell'UMG che si trovava ad affrontare un Atlantico glaciale privo di qualsiasi informazione geografica sull'altra sponda. I critici, dall'altra parte, citano l'assenza di documentazione diretta di imbarcazioni solutriane come prova dell'impossibilità della traversata — in un argomento *ex silentio* che ignora il fatto ovvio che le imbarcazioni di

qualsiasi materiale organico del Paleolitico superiore non si sarebbero mai conservate in depositi aperti di 20.000 anni, e che le coste dove tali imbarcazioni sarebbero state costruite e usate sono oggi sommerse sotto 100–130 m di colonna d'acqua. Entrambi gli argomenti sono retoricamente efficaci e analiticamente vuoti.

Un approccio più rigoroso richiede di rispondere a tre domande distinte, in sequenza logica. Prima: qual era la configurazione fisica dell'Atlantico settentrionale durante l'UMG, e in particolare qual era l'estensione, la struttura interna e la mobilità stagionale della banchisa? Seconda: qual era la produttività ecologica del margine della banchisa, e poteva sostenere un gruppo di cacciatori in migrazione per un periodo di mesi o anni? Terza: i cacciatori solutriani possedevano, o avrebbero potuto sviluppare, le competenze tecnologiche e organizzative necessarie per sfruttare questo ambiente? Solo dopo aver risposto a queste tre domande separatamente si può formulare una stima quantitativa della probabilità di fattibilità, e inserirla nel bilancio complessivo dell'evidenza per e contro l'ipotesi. Il presente capitolo è organizzato secondo questa sequenza.

4.1bis Tecnologie di sopravvivenza artica nel Paleolitico superiore

4.1bis.1 La questione dell'abbigliamento freddo e il suo ruolo nella valutazione della fattibilità

Un aspetto della fattibilità della traversata atlantica che il capitolo IV non ha trattato con sufficiente dettaglio è la questione dell'abbigliamento: i Solutriani possedevano un abbigliamento sufficientemente isolante da permettere la sopravvivenza prolungata in condizioni sub-artiche, dove le temperature dell'aria al bordo del pack possono scendere a -20°C / -30°C in inverno e le temperature dell'acqua marina rimangono intorno a 0°C–2°C tutto l'anno?

La risposta a questa domanda ha implicazioni dirette per la valutazione della fattibilità demografica: se l'abbigliamento necessario era al di fuori delle capacità tecnologiche dei cacciatori del Paleolitico superiore europeo, la traversata sarebbe stata impossibile indipendentemente dalla disponibilità di imbarcazioni e di risorse alimentari.

4.1bis.2 Il sito di Sungir: abbigliamento e tecnologia del freddo nel Gravettiano russo

Il sito di Sungir (Oblast' di Vladimir, Russia), uno dei più straordinari depositi funerari del Paleolitico superiore europeo, fornisce le evidenze più dirette e spettacolari dell'abbigliamento complesso nel Paleolitico superiore europeo. Il sito, scavato da Otto Bader tra il 1956 e il 1977, ha restituito tre sepolture Gravettiane datate intorno a 32.000–28.000 a.P. cal. — un adulto maschio (Sungir 1) e due bambini (Sungir 2 e 3) — con corredi funebri di straordinaria complessità.

La complessità dell'abbigliamento inferita dal corredo funebre è l'elemento più rilevante per la valutazione della fattibilità della traversata. Ciascuna delle tre sepolture di Sungir presenta migliaia di perline in avorio di mammut (Sungir 1 ne aveva 2.936; i due bambini ne avevano 4.903 e 5.374 rispettivamente), disposte in un pattern che ricostruzioni sperimentali successive — condotte da White (1993, *Scientific American*) e Formicola et al. (2001) — mostrano essere coerente con la decorazione di un indumento con maniche, cappuccio foderato, pantaloni e stivali separati. Questo abbigliamento è, in termini funzionali, sostanzialmente identico all'*anorak* inuit con cappuccio foderato di pelliccia: un sistema a strati multipli (pellicce con peli verso

l'interno per l'isolamento, pelli conciate verso l'esterno per la resistenza all'umidità) che garantisce la sopravvivenza a temperature di -30°C anche in condizioni di vento.

La rilevanza di Sungir per l'ipotesi solutriana ha due dimensioni. La prima è diretta: dimostra che i cacciatori del Paleolitico superiore europeo avevano, già 30.000 anni fa e quindi secoli prima del Solutreano, un abbigliamento complesso sufficiente per la sopravvivenza in condizioni di freddo intenso — il che elimina l'ipotetica lacuna tecnologica dell'abbigliamento tra i Solutriani e le popolazioni circumartiche. La seconda è indiretta: la complessità dell'abbigliamento di Sungir — che richiede la caccia sistematica di mammiferi a pelliccia, la loro scuoiatura, la concia delle pelli, la cucitura impermeabile, e la produzione di aghi ossei di alta qualità documentati in molti siti del Paleolitico superiore — documenta una tradizione artigianale del lavoro delle pelli che è il fondamento tecnologico necessario per la costruzione di imbarcazioni di pelle del tipo kayak/umiak. Non è possibile costruire un'imbarcazione di pelle impermeabile senza avere già la tecnologia della cucitura impermeabile delle pelli, e questa tecnologia è documentata nel Paleolitico superiore europeo da 30.000 anni prima del Solutreano.

4.1bis.3 Ohalo II e la complessità tecnologica del Paleolitico superiore pre-solutriano

Il sito di Ohalo II (Lago di Tiberiade, Israele), datato ca. 23.000 a.P. cal. — contemporaneo all'inizio del Solutreano — ha restituito, in condizioni di conservazione eccezionale grazie alla sommersione in acque lacustri, un assemblagge di materiale organico che include resti di cesteria, di fibre intrecciate, e di semi di piante coltivate o proto-coltivate. L'analisi di Weiss et al. (2004, *PNAS*) ha documentato la presenza di cereali selvatici (*Avena* spp., *Hordeum* spp.) in quantità compatibili con una raccolta sistematica e con tecniche elementari di stoccaggio. I resti di cesteria e di fibre documentano la capacità di intrecciare materiali vegetali in strutture coerenti — la tecnologia di base necessaria per la costruzione di imbarcazioni leggere di tipo coracle (imbarcazione circolare di vimini coperta di pelle, usata in Irlanda e in Galles fino al XX secolo per la pesca costiera).

Il significato di Ohalo II non è che le popolazioni del Paleolitico superiore levantino usassero coracles — non c'è nessuna evidenza diretta di questo — ma che le tecnologie di base dell'intreccio e del tessuto, necessarie per costruire il telaio di un'imbarcazione di pelle, erano presenti nel Paleolitico superiore del Vicino Oriente contemporaneamente all'inizio del Solutreano. La diffusione di queste tecnologie verso l'ovest e il nord nel corso del Paleolitico superiore — attraverso i network di scambio documentati dalla distribuzione delle materie prime litiche esotiche — è plausibile ma non dimostrata.

4.1bis.4 Rielaborazione della probabilità di sopravvivenza all'ambiente artico

La sintesi delle evidenze di Sungir e di altri siti del Paleolitico superiore porta a riesaminare la stima della probabilità di sopravvivenza in ambiente artico. Il capitolo IV aveva assunto implicitamente che i Solutriani fossero mal equipaggiati per il freddo estremo, basandosi sull'assenza di evidenza diretta di abbigliamento artico nei siti solutriani stessi. Questa assunzione sottovaluta sistematicamente le competenze tecnologiche dei cacciatori del Paleolitico superiore, che erano — come documentato da Sungir — capaci di produrre abbigliamento complesso a strati multipli sufficiente per la sopravvivenza a temperature di -30°C almeno 5.000 anni prima del Solutreano. Non

c'è ragione cogente per escludere che i Solutriani avessero ereditato e sviluppato ulteriormente questa tradizione.

Il gap tecnologico tra i Solutriani documentati e le popolazioni circumartiche storiche va quindi ridefinito con maggiore precisione: non si tratta di un gap nell'abbigliamento (che era probabilmente comparabile), né di un gap nelle tecnologie di base del lavoro delle pelli (che erano presenti nel Paleolitico superiore europeo), ma di un gap specifico nella tecnologia della caccia marina con arpione a toggling e nella tradizione costruttiva di imbarcazioni oceaniche. Questi due elementi costituiscono il gap reale, e sono sufficientemente specifici da giustificare la stima di P(specializzazione sufficiente) ≈ 0,20–0,25 proposta nella sezione 4.2bis.3.

4.2 La paleoceanografia dell'Atlantico settentrionale durante l'UMG: dati, metodi e ricostruzioni

4.2.1 Le fonti di dati paleoceanografici e la loro convergenza

La ricostruzione delle condizioni oceanografiche dell'Atlantico settentrionale durante l'UMG si basa su una convergenza di metodi che si sono affinati enormemente negli ultimi trent'anni, ciascuno con una diversa risoluzione temporale e spaziale, e che si complementano a vicenda compensando i rispettivi limiti. La comprensione di questi metodi e delle loro incertezze è essenziale per valutare la robustezza della ricostruzione paleoceanografica, che è a sua volta il fondamento empirico di qualsiasi valutazione della fattibilità della traversata.

I **foraminiferi planctonici** conservati nei sedimenti del fondo oceanico sono lo strumento più potente per la ricostruzione delle temperature superficiali del mare (SST, *Sea Surface Temperature*). Le specie di foraminiferi hanno distribuzioni geografiche che dipendono strettamente dalla temperatura dell'acqua: *Neogloboquadrina pachyderma* sinistrorsa predomina nelle acque fredde al di sotto di 6°C e raggiunge il 100% dell'assemblea in acque polari; *Globigerina bulloides* e *Globorotalia inflata* dominano nelle acque temperate-fredde tra 6°C e 14°C; *Globigerinoides ruber* e *G. sacculifer* caratterizzano le acque calde subtropicali al di sopra di 18–20°C. Il metodo delle transfer functions — sviluppato dal progetto CLIMAP (*Climate: Long-range Investigation, Mapping, and Prediction*) negli anni Settanta del Novecento e progressivamente migliorato da Pflaumann et al. (2003, *Paleoceanography*) con il database MARGO (*Multiproxy Approach for the Reconstruction of the Glacial Ocean Surface*) — usa la composizione delle assemblee di foraminiferi nei campioni di sedimento datati all'UMG per stimare le SST attraverso regressioni calibrate sulle assemblee moderne. La risoluzione spaziale del metodo MARGO, basato su circa 600 carote sedimentarie con copertura dell'Atlantico settentrionale, è nell'ordine di centinaia di chilometri, con una risoluzione temporale di circa 2.000–4.000 anni per i sedimenti dell'UMG, dove il tasso di deposizione è tipicamente di 1–3 cm per millennio.

I **record isotopici dell'ossigeno** ($\delta^{18}O$) nei foraminiferi planctonici e bentonici registrano informazioni complementari: nei foraminiferi planctonici, le variazioni di $\delta^{18}O$ riflettono sia la temperatura dell'acqua superficiale sia la composizione isotopica dell'acqua oceanica, che è a sua volta controllata dal volume del ghiaccio globale (le calotte glaciali incorporano acqua isotopicamente leggera, povera di ^{18}O, durante il loro accrescimento, arricchendo l'oceano residuale in ^{18}O). Il disaccoppiamento dei contributi termico e volumetrico richiede la misura parallela del $\delta^{18}O$ su foraminiferi bentonici — che registrano soprattutto il segnale volumetrico perché vivono nelle

acque profonde la cui temperatura varia poco nel tempo — e su foraminiferi planctonici — che registrano la somma dei due segnali. I record di Waelbroeck et al. (2002, *Quaternary Science Reviews*) e Lisiecki e Raymo (2005, *Paleoceanography*) forniscono curve di riferimento globali del $\delta^{18}O$ bentonico che permettono di sincronizzare le carote sedimentarie dell'Atlantico settentrionale tra loro e con le carote di ghiaccio.

I record di **ice-rafted debris** (IRD) — i detriti di roccia continentale trasportati dai ghiacciai nel mare, sedimentati sui fondali marini quando gli iceberg si sciolgono — tracciano la posizione storica dei fronti degli iceberg e, per estensione, delle calotte glaciali marine. L'IRD è particolarmente abbondante in una fascia dell'Atlantico settentrionale nota come "cintura di Heinrich" (*Heinrich Belt*), compresa approssimativamente tra 40°N e 55°N, dove eventi di scarica massiccia di iceberg dall'Ice Stream della calotta laurenzide — gli "eventi di Heinrich" identificati per la prima volta da Hartmut Heinrich nel 1988 (*Quaternary Research*) sulla base di strati di IRD grossolano intercalati nei sedimenti fini dell'Atlantico nordorientale — hanno depositato strati di detrito che sono tra i segnali stratigrafici più chiari dell'intero Pleistocene superiore. Sei eventi di Heinrich sono stati identificati nell'intervallo 70.000–14.000 a.P. (H1–H6), con l'evento H2 datato a ca. 26.500–24.000 a.P. e l'evento H1 a ca. 17.500–16.000 a.P. — il che significa che il periodo del Solutreano superiore (ca. 19.000–17.000 a.P.) si colloca tra i due eventi di Heinrich più recenti, in un intervallo di relativa stabilità della calotta laurenzide rispetto ai periodi di scarica. L'importanza degli eventi di Heinrich per l'ipotesi solutriana è duplice: da un lato, documentano che il margine della calotta atlantica settentrionale era capace di produrre iceberg in quantità massive, il che conferma l'esistenza di un fronte di ghiaccio marino al contatto con l'Atlantico nordorientale; dall'altro, il posizionamento del Solutreano superiore nell'intervallo tra H2 e H1 suggerisce che le condizioni del margine del pack erano relativamente più stabili durante il Solutreano rispetto ai periodi di evento di Heinrich, il che sarebbe favorevole alla navigabilità.

Le **analisi di dinocisti** (*dinoflagellate cysts*) — le cisti di resistenza prodotte da dinoflagellati marini, organismi unicellulari la cui distribuzione specifica è sensibile alla temperatura, alla salinità e alla durata della copertura di ghiaccio — forniscono un proxy multivariato complementare ai foraminiferi. De Vernal et al. (2005, *Quaternary Science Reviews*; 2006, *Climate of the Past*) hanno sviluppato un metodo di calibrazione moderno-antico basato su un database di 1.492 campioni superficiali di sedimento con composizione specifica delle dinocisti nota, che permette di stimare simultaneamente la SST estiva e invernale, la salinità di superficie, e il numero di mesi di copertura di ghiaccio per unità di anno. I risultati di questo metodo hanno modificato significativamente la ricostruzione dell'estensione della banchisa nordatlantica rispetto alle stime precedenti basate sui soli foraminiferi, come si illustrerà nella sezione 4.2.2.

Infine, i **modelli climatici accoppiati** del tipo PMIP4 (*Paleoclimate Modelling Intercomparison Project*, fase 4) — che simulano l'interazione tra oceano, atmosfera, criosfera e superficie terrestre per le condizioni al contorno dell'UMG (riduzione della CO_2 atmosferica da ~280 ppm a ~185 ppm, configurazione orbitale, calotte di ghiaccio ricostruite dalla stratigrafia glaciale) — forniscono ricostruzioni quantitative delle variabili oceanografiche con risoluzione spaziale di circa 100–200 km e risoluzione temporale mensile. I risultati del PMIP4, pubblicati in forma di ensemble da Kageyama et al. (2021, *Climate of the Past*), mostrano un accordo generale tra i modelli e i dati di proxy nelle caratteristiche principali della struttura climatica dell'UMG: abbassamento delle SST di 2–4°C nelle latitudini tropicali e di 5–10°C nell'Atlantico settentrionale tra 40°N e 60°N, espansione della banchisa verso sud di 10–15° di latitudine rispetto all'attuale, indebolimento dell'AMOC del 30–50% rispetto all'interglaciale. Le

discrepanze residue tra modelli e dati riguardano principalmente le SST nell'Europa nordoccidentale — i modelli tendono a sovrastimare il raffreddamento rispetto ai proxy di dinocisti — e la localizzazione precisa dei fronti di ghiaccio marino, che i modelli producono con una distribuzione più meridionale di quanto le dinocisti suggeriscano.

4.2.2 La banchisa atlantica durante l'UMG: estensione, struttura interna e stagionalità

La ricostruzione più completa e aggiornata dell'estensione della banchisa atlantica durante l'UMG proviene dalla sintesi MARGO (Waelbroeck et al. 2009, *Quaternary Science Reviews*) integrata con le analisi di dinocisti di de Vernal et al. (2005, 2006). La messa a confronto sistematica di questi due approcci ha prodotto uno dei dibattiti più interessanti nella paleoceanografia dell'UMG, con implicazioni dirette per l'ipotesi solutriana.

Il metodo MARGO, basato sui foraminiferi, produceva ricostruzioni che collocavano la banchisa perenne dell'UMG a latitudini di 45°–50°N nell'Atlantico nordorientale, con un'estensione stagionale che si spingeva verso sud fino a latitudini ancora più basse durante i periodi di massimo avanzamento invernale. Il metodo delle dinocisti di de Vernal e colleghi, invece, suggerisce che la banchisa estiva dell'UMG fosse limitata a latitudini di 60°–65°N — quindi circa 10°–15° più a nord di quanto i foraminiferi implicassero — con la banchisa invernale estesa fino a 45°–50°N, in accordo con MARGO per la stagione invernale ma non per la stagione estiva. La discrepanza riflette una differenza biologica fondamentale tra i due proxy: i foraminiferi planctonici integrano il segnale delle temperature di tutto l'anno, con un peso maggiore per la stagione di massima produzione (primavera-estate), mentre le dinocisti registrano esplicitamente le condizioni stagionali attraverso specie diverse caratteristiche di ciascuna stagione.

Questa distinzione tra copertura invernale ed estiva è fondamentale per l'ipotesi solutriana per ragioni che richiedono una spiegazione dettagliata, perché la dinamica stagionale della banchisa non è intuitiva per un lettore non specializzato. La banchisa marina artica non è una struttura monolitica e stabile: è un sistema profondamente dinamico, la cui estensione varia stagionalmente in risposta al bilancio radiativo tra il riscaldamento solare estivo e il raffreddamento per irraggiamento invernale, amplificato dai meccanismi di retroazione del pack stesso — la sua alta albedo riflette una frazione maggiore della radiazione solare rispetto all'oceano aperto, amplificando il raffreddamento nelle aree coperte. Nella configurazione artica contemporanea, la banchisa estiva minima (settembre) si estende su circa 5–6 milioni di km², mentre la banchisa invernale massima (marzo) raggiunge circa 14–15 milioni di km² — una differenza di un fattore 2,5–3 in area, corrispondente a circa 10°–15° di latitudine nel settore atlantico. Durante l'UMG, con una calotta glaciale molto più estesa e un albedo globale più alto, questa differenza stagionale era probabilmente almeno altrettanto pronunciata, e le ricostruzioni di de Vernal et al. suggeriscono che potesse essere anche maggiore.

Le implicazioni per l'ipotesi solutriana sono precise e specifiche. Una migrazione di cacciatori marini lungo il bordo della banchisa sarebbe necessariamente stagionale: durante i mesi invernali (novembre–marzo nell'emisfero settentrionale), il bordo del pack si trova a latitudini meridionali — 45°–50°N durante l'UMG secondo le stime di de Vernal, all'altezza della costa settentrionale dell'Iberia e della Bretagna — ma le condizioni di navigazione durante l'inverno subatlantico sono estreme. Anche nelle condizioni attuali, con un Atlantico nordorientale significativamente più mite dell'UMG, la navigazione invernale in acque aperte alle latitudini di 45°–50°N è caratterizzata da tempeste frequenti con venti di forza 7–8 Beaufort (velocità di 40–60 km/h, altezza

delle onde di 4–7 m), visibilità ridotta da pioggia e nevischio, e temperature dell'aria di 0°–5°C che producono ipotermia in pochi minuti in caso di immersione. Per imbarcazioni primitive senza protezione dai marosi, queste condizioni sarebbero letali nella stragrande maggioranza dei casi. Durante i mesi estivi (maggio–agosto), il bordo del pack si ritrae verso nord, le latitudini 60°–65°N ricevono fino a 18–20 ore di luce diurna che consentono la navigazione prolungata, le tempeste sono meno frequenti, e la temperatura dell'aria sale a valori di 5°–15°C — ancora freddi ma non necessariamente letali con l'abbigliamento appropriato. La migrazione lungo il bordo del pack sarebbe quindi necessariamente una migrazione estiva, con sosta invernale in qualche posizione riparata: probabilmente su piattaforme di ghiaccio pluriennale relativamente stabili, o su coste rocciose della piattaforma continentale atlantica emersa durante l'UMG e oggi sommerse.

Il carattere stagionale della migrazione ha implicazioni demografiche e logistiche di grande importanza, che raramente vengono trattate con il dettaglio necessario nelle discussioni sull'ipotesi solutriana. Un gruppo di cacciatori che trascorra i mesi invernali (fino a sei-sette mesi ad alte latitudini) in una posizione fissa deve accumulare, durante i mesi di caccia estiva, riserve di cibo sufficienti per la sopravvivenza invernale. Il modello di sussistenza delle popolazioni Thule dell'Artico storico — la più pertinente delle analogie etnografiche disponibili per questa situazione — prevedeva l'accumulo estivo di grandi quantità di grasso di balena e di carne affumicata e seccata di tricheco, conservate in cache refrigerate nella neve e nel permafrost, che costituivano la riserva alimentare per i mesi di scarsa caccia invernale. Il fabbisogno calorico per un gruppo di 25 individui durante sei mesi invernali di ridotta attività fisica è dell'ordine di 25 × 4.000 kcal/giorno × 180 giorni = 18.000.000 kcal — equivalenti, in termini di grasso di mammifero marino, a circa 1.800 kg di grasso puro (densità energetica ca. 9.000 kcal/kg), o a circa 3–4 tonellaggi di carne grassa di foca o tricheco. Questo quantitativo non è impossibile da accumulare nella stagione estiva di caccia al margine del pack — un singolo tricheco adulto maschio di 1.000 kg può fornire fino a 300 kg di grasso e 400 kg di carne — ma richiede un'organizzazione logistica, tecniche di conservazione, e una capacità di trasporto che costituiscono un sistema integrato la cui presenza tra i Solutriani non è documentata e deve essere postulata.

Una tecnologia analoga di conservazione degli alimenti è in linea di principio compatibile con le competenze dei cacciatori del Paleolitico superiore — che certamente conservavano carne e grasso, come documentato dalle abbondanti tracce di lavorazione delle carcasse nei depositi solutriani e dalle prove di smoked bones in diversi siti — ma la scala e l'efficienza necessarie per la sopravvivenza in condizioni sub-artiche sono di un ordine di grandezza superiore a qualsiasi cosa sia stata documentata per i Solutriani dell'area cantabrica. Il numero delle prede conservate nei grandi siti solutriani — come i depositi ossei di Solutré stesso, dove le ossa di migliaia di cavalli sono state accumulate nel corso di millenni di cacce collettive — suggerisce una capacità di processamento intensivo delle carcasse, ma non necessariamente una tecnologia di conservazione a lungo termine di tipo artico.

4.2.3 La circolazione oceanica dell'Atlantico durante l'UMG e la sua rilevanza per la navigazione

La circolazione oceanica dell'Atlantico settentrionale durante l'UMG è stata ricostruita attraverso una combinazione di proxy sedimentari e modelli climatici, con risultati che hanno implicazioni dirette — e raramente discusse nel dibattito sull'ipotesi solutriana — per la valutazione della navigabilità e della direzione delle correnti superficiali.

Il dato più importante è l'indebolimento dell'AMOC (*Atlantic Meridional Overturning Circulation*) — la circolazione termoalina che trasporta calore dall'Atlantico tropicale

verso il Nord Atlantico attraverso la corrente del Golfo e le sue propaggini settentrionali, la corrente nordatlantica e la corrente della Norvegia. L'evidenza primaria di questo indebolimento proviene dai record del rapporto $^{231}Pa/^{230}Th$ nei sedimenti dell'Atlantico settentrionale, pubblicati sistematicamente da McManus et al. (2004, *Nature*) e da Gherardi et al. (2009, *Paleoceanography*). Il rapporto tra questi due isotopi radioattivi — il protattinio-231, con un tempo di dimezzamento di 32.760 anni, e il torio-230, con un tempo di dimezzamento di 75.690 anni — è prodotto nell'acqua marina in proporzione relativamente costante per decadimento dell'uranio disciolto, ma viene rimosso dal sistema acquoso in proporzione diversa dalla sedimentazione: il ^{230}Th si lega con maggiore efficienza alle particelle sospese e si deposita relativamente vicino al luogo di produzione, mentre il ^{231}Pa rimane più a lungo in soluzione e viene trasportato dalle correnti prima di depositarsi. In condizioni di AMOC forte e rapido rinnovamento delle masse d'acqua, il ^{231}Pa viene esportato dal Atlantico settentrionale verso il Pacifico attraverso la circolazione profonda, producendo un rapporto $^{231}Pa/^{230}Th$ nel sedimento dell'Atlantico settentrionale inferiore al rapporto di produzione. In condizioni di AMOC indebolita, il ^{231}Pa non viene esportato efficacemente e si accumula nei sedimenti dell'Atlantico settentrionale, producendo un rapporto $^{231}Pa/^{230}Th$ prossimo al rapporto di produzione. I valori misurati nell'UMG nei carote sedimentari dell'Atlantico nordorientale mostrano rapporti $^{231}Pa/^{230}Th$ compatibili con una riduzione del flusso di acqua profonda di formazione nordatlantica del 30–50% rispetto ai valori dell'Olocene, il che rappresenta un indebolimento significativo ma non collasso completo dell'AMOC.

L'indebolimento dell'AMOC aveva conseguenze importanti sulla circolazione superficiale dell'Atlantico settentrionale. Con la riduzione del flusso della corrente del Golfo verso nord, il giro subtropicale nordatlantico — il grande sistema di correnti rotatoriali anticiclonico che trasporta acqua calda verso nord-est nel Atlantico orientale — era compresso verso latitudini più basse, e la corrente nordatlantica (il braccio nordorientale del sistema) era significativamente indebolita. I modelli PMIP4 mostrano consistentemente che la velocità media delle correnti superficiali nell'Atlantico nordorientale tra 45°N e 60°N era ridotta del 20–40% rispetto alle condizioni attuali, con una componente orientale (verso est) indebolita e una componente meridionale più pronunciata. Il risultato netto era che l'Atlantico settentrionale tra 45°N e 60°N era caratterizzato da correnti superficiali più deboli e meno organizzate di quelle attuali, con una riduzione della forza del giro subtropicale che si traduceva in una minore resistenza alla navigazione verso ovest.

Questo è un dettaglio tecnico che le discussioni sull'ipotesi solutriana raramente citano, probabilmente perché richiede una certa competenza oceanografica per essere apprezzato, ma che ha importanza diretta per la valutazione della fattibilità. Nelle condizioni oceanografiche attuali, la corrente del Golfo e le correnti nordatlantiche rappresentano un ostacolo significativo per qualsiasi navigazione verso ovest alle latitudini dell'Atlantico nordorientale: un'imbarcazione a remi o a vela quadra che tentasse di attraversare l'Atlantico da est a ovest a 50°N nell'Atlantico attuale incontrerebbe correnti contrarie di 0,5–1,0 nodi per la maggior parte del tragitto, che si traducono in un rallentamento del 20–40% rispetto alla velocità di progresso in acque calme. Durante l'UMG, con il giro subtropicale compresso verso latitudini più basse e la corrente nordatlantica indebolita, queste correnti contrarie erano presumibilmente più deboli alle latitudini di 50°–60°N, rendendo la navigazione verso ovest meno penalizzata di quanto sarebbe oggi.

Viceversa, la navigazione lungo il bordo del pack — che procede essenzialmente verso ovest e nord-ovest seguendo il margine del ghiaccio — era probabilmente assistita da venti catabatici provenienti dalla calotta glaciale. I venti catabatici sono correnti d'aria

discendenti che si formano quando l'aria fredda e densa accumulata sulla superficie delle calotte glaciali scende lungo i pendii della calotta per effetto della gravità: in Antartide, dove questo fenomeno è documentato sistematicamente, i venti catabatici possono raggiungere velocità di 50–80 m/s nelle zone di concentrazione del flusso, e velocità medie di 10–20 m/s al margine della calotta. Durante l'UMG, le calotte glaciali nordatlantiche — la calotta laurenzide a ovest e la calotta fennoscandinava a est — erano di dimensioni enormi, con superfici inclinate che si estendevano per migliaia di chilometri dalle aree di accumulo interne verso i margini costieri. I venti catabatici che scendevano lungo le superfici di queste calotte verso il margine del pack avrebbero prodotto al bordo del ghiaccio correnti d'aria con componente orizzontale di 5–20 m/s, dirette generalmente verso il mare aperto e verso ovest lungo il margine della calotta. Questi venti, se persistenti nelle stagioni di navigazione, avrebbero potuto assistere la navigazione verso ovest lungo il bordo del pack, riducendo sia il tempo di percorrenza sia lo sforzo fisico necessario rispetto a una navigazione in acque calme senza vento.

4.2.4 Simulazione qualitativa della rotta atlantica: da Capo Finisterre a Terranova

Per dare concretezza alla valutazione della fattibilità, è necessario ricostruire in dettaglio la rotta che una migrazione solutriana avrebbe dovuto seguire secondo l'ipotesi di Stanford e Bradley, distinguendo le fasi diverse per le loro proprietà logistiche e ambientali specifiche.

Il punto di partenza più plausibile, suggerito dalla distribuzione geografica dei siti solutriani con evidenze di utilizzo delle risorse costiere, è la costa nordoccidentale della penisola iberica — la Galizia e le Asturie — dove la costa atlantica e la catena Cantabrica si congiungono, e dove i siti del Solutreano superiore mostrano la più alta concentrazione geografica e la più ricca fauna marina associata. Durante l'UMG, questa costa era avanzata di 50–80 km verso ovest rispetto all'attuale: la piattaforma continentale, oggi sommersa a 100–130 m di profondità, era parzialmente emersa e formava una serie di isole e di promontori bassi nel Golfo di Biscaglia settentrionale, offrendo potenziali punti d'appoggio per la navigazione verso nord-ovest. Il bordo della banchisa invernale si trovava, secondo le stime di de Vernal et al., a circa 200–500 km a nord-ovest della costa iberica durante i periodi di massima avanzata; in estate, il bordo del pack si ritirava verso nord fino a latitudini di 60°–65°N, portandosi a 1.000–1.500 km dalla costa iberica.

La prima fase della migrazione ipotetica — la "fase di avvicinamento al pack" — avrebbe richiesto una navigazione verso nord-ovest attraverso le acque subartiche del Golfo di Biscaglia e dell'Atlantico nordorientale, fino a incontrare il bordo meridionale della banchisa estiva. Questa fase è ecologicamente la più difficile dell'intera rotta, per tre ragioni. In primo luogo, si svolge in acque aperte, lontana da qualsiasi costa che possa offrire riparo o risorse supplementari, senza la guida visiva del margine del ghiaccio che caratterizza le fasi successive. In secondo luogo, le condizioni meteorologiche nell'Atlantico nordorientale a latitudini di 45°–60°N sono intrinsecamente variabili e potenzialmente pericolose per imbarcazioni primitive: anche in estate, le depressioni barometriche che si formano sull'Atlantico nordorientale possono generare venti di forza 6–8 Beaufort con preavviso di poche ore. In terzo luogo, la fauna marina disponibile nelle acque subartiche aperte è meno concentrata e meno accessibile che al bordo del pack, dove la produttività fitoplanctonico è massima. La distanza da percorrere in questa fase è di circa 1.000–1.500 km — percorribili, a una velocità di progresso realistica di 30–50 km al giorno per imbarcazioni primitive assistite da vento favorevole, in 20–50 giorni di navigazione attiva — ma ogni giorno di navigazione in acque aperte rappresenta un rischio non trascurabile di naufragio per maltempo.

La seconda fase — la "fase di migrazione lungo il pack" — è quella che Stanford e Bradley descrivono come ecologicamente sostenibile grazie alla produttività del margine del ghiaccio. Il bordo estivo del pack, durante l'UMG, si trovava probabilmente intorno a 60°–65°N nell'Atlantico nordorientale e avanzava progressivamente verso ovest seguendo il margine meridionale della calotta glaciale. Una migrazione che segua questo margine verso ovest percorrerebbe una distanza di circa 3.000–4.000 km prima di raggiungere le acque a ovest della Groenlandia e successivamente la costa nordorientale del Nord America — con una rotta che, in termini di configurazione geografica dell'UMG, passava probabilmente a nord e ad ovest dell'attuale posizione di Terranova e poi scendeva verso sud lungo il margine orientale della calotta laurenzide.

È questa la configurazione che Stanford e Bradley hanno in mente quando parlano di "corridoio di ghiaccio atlantico": non una traversata diretta dell'Atlantico aperto, come quella di Colombo nel 1492, ma una migrazione progressiva lungo il bordo di una struttura geografica relativamente continua — il margine del pack artico — che avrebbe fornito sia un sistema di orientamento visivo (seguire il bordo del ghiaccio verso ovest) sia un'autostrada ecologica (sfruttare la fauna concentrata al margine del pack). L'analogia pertinente non è la traversata dell'Atlantico da parte di Colombo — che disponeva di una mappa, di una teoria geografica, e di navi oceaniche — ma la migrazione costiera delle popolazioni Thule dall'Alaska verso la Groenlandia, avvenuta intorno all'anno 1000–1200 d.C. e documentata nei siti del Canada artico con datazioni radiocarboniche che la collocano nell'arco di non più di 100–200 anni.

4.2bis Le imbarcazioni di pelle del Paleolitico superiore e il divario tecnologico

4.2bis.1 Il record zooarcheologico delle imbarcazioni nell'Europa settentrionale pre-mesolitica

Una delle assunzioni centrali del capitolo IV sulla fattibilità della traversata atlantica è che i Solutriani dell'area cantabrica non disponessero di imbarcazioni del tipo necessario per navigare in acque aperte o al bordo del pack — cioè di imbarcazioni di pelle con telaio rigido leggero, del tipo kayak o umiak, che le popolazioni circumartiche storiche usano per la caccia marina. Questa assunzione è plausibile data l'assenza di evidenza diretta di tali imbarcazioni nei contesti solutriani, ma deve essere valutata alla luce del record complessivo delle imbarcazioni del Paleolitico superiore e dei vincoli tafonomici che lo distorcono.

Il record diretto delle imbarcazioni del Paleolitico superiore è virtualmente nullo per ragioni ovvie: le imbarcazioni di pelle o di legno si degradano rapidamente in depositi aperti senza condizioni di conservazione eccezionali. L'unica evidenza diretta di imbarcazioni nel Paleolitico superiore eurasiatico proviene da pitture rupestri e da incisioni, che però rappresentano quasi esclusivamente forme stilizzate difficili da interpretare come tipi di imbarcazione specifici. Le più antiche rappresentazioni rupestri interpretate da alcuni ricercatori come imbarcazioni provengono da siti dell'arte rupestre scandinava (rock art del periodo Artico norvegese, ca. 9.000–7.000 a.P.), che però si collocano al di fuori del periodo solutriano e potrebbero riflettere influenze mesolitiche piuttosto che paleolitiche.

L'evidenza indiretta di navigazione marittima nel Paleolitico superiore europeo è, però, più sostanziale. La colonizzazione dell'isola di Sardegna, datata a non più tardi di 13.000–12.000 a.P. cal. sulla base dei resti di fauna domesticata introdotta dall'uomo (Sondaar et al. 1986; Lugliè 2018), richiede una traversata del Canale di Sardegna di almeno 12–18 km in condizioni di visibilità di terra minima — una navigazione fattibile

con qualsiasi tipo di imbarcazione primitiva, incluse zattere di tronchi o imbarcazioni di pelle semplici. La colonizzazione dell'isola di Malta intorno a 7.400 a.P. richiede una traversata del Canale di Sicilia di almeno 80–90 km in acque aperte. La presenza di obsidiana dell'isola di Melos (Cicladi) in siti del Mesolitico del continente greco e anatolico, con date di 14.000–13.000 a.P., implica traversate del mare Egeo di 80–150 km su imbarcazioni sufficientemente stabili per trasportare il peso della roccia.

Questi casi documentano che le popolazioni europee del Paleolitico superiore finale e del Mesolitico erano in grado di effettuare traversate marittime di 12–150 km in acque mediterranee relativamente calme. La distanza e le condizioni dell'Atlantico nordorientale sono di diversi ordini di grandezza più difficili, ma questi casi stabiliscono che la tecnologia delle imbarcazioni era già presente in Europa nel periodo rilevante — il che riduce il gap tecnologico ipotizzato tra i Solutriani e le popolazioni circumartiche storiche.

4.2bis.2 Le imbarcazioni di pelle nordeuropee: evidenza da siti del tardo Paleolitico e del Mesolitico

Il contesto geografico più rilevante per valutare le imbarcazioni del Paleolitico superiore nordeuropeo è la Scandinavia, dove le condizioni di conservazione nei depositi lacustri e nelle torbiere sono eccezionali e dove la dipendenza dalle risorse marine delle popolazioni preistoriche è documentata con particolare chiarezza.

Il sito di Tybrind Vig (Danimarca), una stazione mesolitica della cultura Ertebølle sommersa nella baia di Lillebælt e scavata da Lars Andersen tra il 1978 e il 1987, ha restituito i resti più antichi di una piroga monossile (dugout canoe) datata al 7.000 a.P. cal. — uno dei più antichi esemplari di imbarcazione conservata al mondo. La piroga di Tybrind Vig è costruita in legno di tiglio con forma idrodinamica elaborata, dimostrando che le popolazioni mesolitiche nordeuropee avevano una tradizione costruttiva consolidata. Analisi delle fibre di resina usate come sigillante nei giunti della piroga suggeriscono tecniche di impermeabilizzazione sofisticate che richiedono un apprendistato specifico.

Per il periodo immediatamente precedente — il Paleolitico superiore finale, ca. 14.000–11.000 a.P. — non esistono imbarcazioni conservate, ma ci sono evidenze indirette significative. I siti magdaleniani e aziliani delle coste atlantiche francesi e cantabriche mostrano, nei loro assemblaggi di fauna marina, specie che non possono essere catturate dalla riva: tonno (*Thunnus* spp.), cernia (*Epinephelus* spp.), delfino (*Delphinus delphis*, *Tursiops truncatus*) e, in alcuni siti, resti di foche (*Phoca vitulina*, *Halichoerus grypus*) in proporzioni che suggeriscono la caccia attiva in mare aperto piuttosto che la raccolta di animali spiaggiati. Straus e Clark (1986), nel loro studio di La Riera, e Cleyet-Merle e Madelaine (1995) nei depositi di Cap Blanc e di altri siti delle Landes francesi, hanno documentato resti di specie pelagiche o semi-pelagiche che presuppongono una qualche capacità di navigazione al di là della riva.

L'analisi spaziale di questi siti è particolarmente informativa. Cap Blanc (Gironda, Francia), un sito Magdaleniano superiore datato ca. 14.000 a.P., è ubicato nella fascia costiera della Gironda in una zona dove la corrente della Gironda incontra le acque atlantiche — un fronte oceagrafico che, nelle condizioni marine attuali, concentra fauna pelagica a 5–15 km dalla costa. La cattura sistematica di tonno e delfino in questo sito richiede la navigazione di imbarcazioni stabili a questa distanza dalla costa — non una traversata dell'Atlantico, ma una navigazione in mare aperto che presuppone imbarcazioni di qualità superiore alle semplici zattere di canne o tronchi.

4.2bis.3 Rielaborazione del gap tecnologico: da impossibile a improbabile ma non documentato

Alla luce delle evidenze discusse nelle sezioni precedenti, la stima del gap tecnologico tra i Solutriani documentati e la tradizione nautica necessaria per la migrazione atlantica deve essere rivisitata rispetto all'analisi del capitolo IV.

La stima originale del capitolo IV — P(gruppo solutriano con specializzazione sufficiente) ≈ 0,15 — si basava sull'assunzione che la tradizione nautica artica (kayak + umiak + arpione a toggling) non fosse presente né sviluppata nella cultura solutriana. Questa assunzione è ancora la più plausibile data l'evidenza disponibile, ma deve essere modulata dal riconoscimento che: (1) le popolazioni europee contemporanee o di poco successive al Solutreano mostravano capacità di navigazione marittima in acque aperte fino a 15–20 km dalla costa; (2) le imbarcazioni solutreane costiere — se esistevano, come è plausibile — sono completamente sommerse; (3) la tradizione costruttiva delle imbarcazioni di pelle nordiche (che produce il kayak e l'umiak) non richiede necessariamente una specializzazione artica completa come punto di partenza, ma può svilupparsi progressivamente da una tradizione di imbarcazioni di pelle costiere più semplici.

Il modello demografico più realistico per la migrazione atlantica non è quello di un gruppo di cacciatori cantabrici che decide improvvisamente di esplorare l'oceano, ma quello di una graduale specializzazione costiera marittima nel corso di 2.000–3.000 anni durante la fase tardo-solutriana e proto-magdaleniana (19.000–15.000 a.P.), in un contesto di risorse costiere crescenti con il ritiro del fronte glaciale nordatlantico. In questo scenario, la tradizione nautica necessaria per la migrazione non sarebbe la dotazione tecnologica dei Solutriani classici dell'area cantabrica, ma una tradizione successiva e derivata che avrebbe avuto 1.000–2.000 anni per svilupparsi prima di essere potenzialmente impiegata nella migrazione. Questo scenario non è documentato, ma non è nemmeno falsificato dai dati disponibili — perché i siti costieri rilevanti sono sommersi.

Rivedendo la stima, è più difendibile P(gruppo con specializzazione sufficiente) ≈ 0,20–0,25 piuttosto che 0,15, il che aumenta il LR per la fattibilità da ~0,17 a ~0,20–0,25 — un aggiustamento modesto ma nella direzione favorevole all'ipotesi.

4.3 La produttività ecologica del margine del pack: fisica, biologia e potenziale trofico per i cacciatori

4.3.1 Il meccanismo fisico della produttività al bordo del ghiaccio

Il margine della banchisa artica — la zona di transizione, larga tipicamente 10–100 km, tra le acque coperte di ghiaccio e le acque libere subartiche, nota nella letteratura oceanografica come *marginal ice zone* (MIZ) — è uno degli ecosistemi più produttivi del pianeta, e la comprensione del meccanismo fisico che genera questa produttività è essenziale per valutare l'argomento di Stanford e Bradley sulla sostenibilità ecologica della migrazione.

Nelle acque oceaniche aperte delle latitudini subartiche, la produttività primaria è limitata non dalla luce — che è abbondante in estate alle latitudini di 60°–70°N — ma dalla disponibilità di nutrienti nello strato eufotico (*mixed layer*), il quale tende a perdere i suoi nutrienti attraverso la sedimentazione del particolato organico verso acque più profonde fuori dalla portata delle correnti di rimescolamento. Al margine del pack,

questo equilibrio è perturbato da due meccanismi fisici distinti. Il primo è il rilascio di nutrienti dal ghiaccio fondente: durante la primavera e l'estate, il ghiaccio marino si assottiglia al suo margine meridionale e inizia a fondere. Il ghiaccio marino contiene, intrappolate nella sua struttura e nelle microcanali tra i cristalli di ghiaccio, alghe criofiliche (*ice algae*, principalmente diatomee del genere *Nitzschia* e *Melosira*) che si sono sviluppate durante l'inverno utilizzando i nutrienti intrappolati nel ghiaccio stesso. Quando il ghiaccio fonde, queste alghe vengono rilasciate nell'acqua oceanica insieme ai nutrienti in esse contenuti — azoto, fosforo, silice, ferro — innescando un *bloom* fitoplanctoni di intensità straordinaria. Le misurazioni della clorofilla *a* nelle acque marginali del pack mostrano concentrazioni di fitoplancton 10–100 volte superiori a quelle delle acque oceaniche aperte a latitudini comparabili, con bloom che possono raggiungere concentrazioni di clorofilla di 20–30 mg/m³ contro valori tipici di 0,1–0,5 mg/m³ delle acque oceaniche oligotrofiche. Il secondo meccanismo è l'upwelling al fronte del ghiaccio: la differenza di densità tra le acque fredde e fresche (meno saline) risultanti dalla fusione del ghiaccio e le acque subpolari più calde e salate al di là del margine crea un fronte di densità che genera circolazioni verticali secondarie, portando nutrienti dalle acque profonde nella zona eufotica.

Questo bloom primaverile-estivo è la base di una catena trofica compatta e ad alta efficienza di trasferimento energetico che, nell'arco di poche settimane, trasferisce energia dal fitoplancton allo zooplancton — principalmente copepodi del genere *Calanus* (in particolare *C. hyperboreus* e *C. finmarchicus*), anfipodi del genere *Themisto*, e eufasiacei del tipo krill (*Meganyctiphanes norvegica* nell'Atlantico nordorientale) — dai crostacei ai pesci (capelin *Mallotus villosus*, merluzzo artico *Boreogadus saida*, aringa *Clupea harengus*, torsk *Brosme brosme*), e dai pesci ai mammiferi marini. La caratteristica ecologica più importante di questa catena trofica per l'ipotesi solutriana è la sua compressione spaziale: invece di essere distribuita su vaste aree oceaniche come nelle catene trofiche delle acque aperte, questa produttività è concentrata in una fascia relativamente stretta — la MIZ — che può essere seguita e sfruttata sistematicamente da cacciatori che si spostino lungo il suo margine.

I mammiferi marini del margine del pack atlantico settentrionale durante l'UMG erano probabilmente molto più abbondanti di quelli attuali. Questa inferenza ha due basi indipendenti. La prima è demografica: le specie di mammiferi marini dell'Atlantico nordorientale hanno subito riduzioni drastiche delle loro popolazioni a partire dalla caccia preindustriale degli ultimi cinque secoli. Le stime delle popolazioni pre-industriali di balena franca nordatlantica (*Eubalaena glacialis*) nel Atlantico settentrionale, basate su modelli demografici retroproiettivi calibrati sui record storici delle catture baleniere basche, inglesi e americane, suggeriscono popolazioni pre-1500 nell'ordine di 50.000–100.000 individui, contro le meno di 400 sopravvissute oggi (Reeves et al. 2013, *Biological Conservation*). La balena franca è la specie che le flotte baleniere europee iniziarono a cacciare nel Golfo di Biscaglia già nel XII secolo, e la collasso della sua popolazione nelle acque europee nel XVII–XVIII secolo è documentata dai registri delle catture delle compagnie baleniere basca e britannica. Per l'UMG, in assenza di qualsiasi pressione venatoria umana nell'Atlantico nordorientale (nessuna evidenza di caccia alle balene in Europa prima del IX–X secolo d.C.), le popolazioni erano probabilmente nell'ordine della stima pre-industriale o superiori. La seconda base è ecologica: le condizioni di produttività primaria al margine del pack dell'UMG erano probabilmente superiori a quelle attuali — più estesa, con margini più stabili e più ricchi di nutrienti provenienti dalle calotte glaciali — il che avrebbe sostenuto popolazioni di mammiferi marini più dense di quelle documentate per l'Artico contemporaneo.

4.3.2 La tecnologia della caccia marina nel Paleolitico superiore: evidenze, lacune e inferenze

L'evidenza diretta di caccia marina nei contesti solutriani è limitata quantitativamente ma significativa qualitativamente, e la sua interpretazione richiede attenzione ai problemi tafonomici che distorcono sistematicamente la rappresentazione della fauna marina nel record zooarcheologico dei siti di grotta.

Il sito di La Riera (Asturie, Spagna), scavato da Lawrence Straus e Geoffrey Clark in quattro campagne tra il 1975 e il 1979 e pubblicato in forma monografica definitiva nel 1985, ha fornito nei livelli solutriani una fauna marina abbastanza abbondante da essere interpretabile. Tra i resti identificati compaiono *Phoca vitulina* (foca comune, rappresentata da alcune ossa di individui giovani e adulti) e *Delphinus delphis* (delfino comune, pochi frammenti dentari), oltre ad abbondanti molluschi marini tra cui patelle (*Patella* spp.), chiocciole (*Littorina obtusata*, *Nucella lapillus*) e cozze (*Mytilus* spp.), che documentano la raccolta sistematica e intensiva di risorse intertidali. I resti di foca a La Riera sono stati interpretati da Straus come evidenza di caccia attiva piuttosto che di raccolta di animali spiaggiati, principalmente perché le ossa mostrano tracce di macellazione sistematica — scarnificazione dei muscoli, raccolta del grasso perischeletrico — che sono caratteristiche di un'utilizzazione pianificata e non opportunistica. La presenza di ossa di foca in posizione anatomica e il fatto che gli individui rappresentati includano individui adulti (non solo neonati o animali debilitati, che sarebbero i più facili da raccogliere spiaggiati) supporta questa interpretazione.

Il problema più problematico dal punto di vista dell'ipotesi solutriana non è l'identificazione della preda marina, ma il metodo con cui veniva catturata. Le popolazioni circumartiche storiche usano fondamentalmente due metodi per la caccia alle foche: la caccia al *breathing hole* (*mauliq* in inuktitut), in cui il cacciatore aspetta immobile accanto al foro di respirazione che la foca mantiene nel ghiaccio, talvolta per ore, e la colpisce con l'arpione nel momento preciso in cui la testa emerge per respirare — un metodo che richiede pazienza, precisione e un arpione con corda di recupero per evitare di perdere la preda ferita sotto il ghiaccio; e la caccia con kayak nelle acque libere marginali del pack, in cui il cacciatore si avvicina silenziosamente a una foca che riposa su una piattaforma di ghiaccio e la colpisce con il giavellotto o l'arpione prima che possa tuffarsi. Entrambi i metodi richiedono, come elemento tecnologico critico, un arpione con punta mobile a doppio fermo (*toggling harpoon head*) — una punta che si disconnette dal manico dopo l'impatto nella preda, ruotando trasversalmente sotto la pelle dell'animale e rimanendo infilata nel corpo collegata a una corda — che impedisce alla preda ferita di sfilarsi dall'arpione e di perdersi sotto il ghiaccio o in acque profonde.

Questo tipo di arpione, nella sua forma più elaborata con punta a toggling e foro per il cavo di recupero, è documentato per la prima volta con sicurezza nel record zooarcheologico nei depositi del Magdaleniano superiore e del Mesolitico nordeuropeo — specificatamente nelle industrie ossee di siti come Meiendorf-Stellmoor in Germania settentrionale (ca. 14.000–13.500 a.P.) e nelle culture aziliane e maglemosiane del Mesolitico europeo. I contesti solutriani europei non hanno finora restituito arpioni con punta a toggling identificabili con certezza; gli strumenti ossei appuntiti ritrovati nei livelli solutriani di diversi siti sono stati interpretati come punte di lancia, punteruoli, o aghi da sutura — non come componenti di sistemi di recupero. Questa lacuna è significativa ma presenta la complicazione metodologica già discussa: gli strumenti in materiale organico si conservano selettivamente in depositi con condizioni di conservazione particolari (grotte con sedimenti calcarei, torbiere, siti in permafrost), e i siti solutriani costieri — dove ci si aspetterebbe di trovare gli strumenti da caccia

marina — sono quasi tutti sommersi. La mancanza di arpioni a toggling nei contesti solutriani disponibili è un argomento *ex silentio* che ha un peso epistemico limitato ma non trascurabile.

C'è un'altra lacuna tecnologica che merita attenzione sistematica perché è raramente discussa con la precisione necessaria: l'imbarcazione. Per seguire il margine del pack per migliaia di chilometri e sfruttare le risorse marine disponibili, i cacciatori solutriani avrebbero avuto bisogno di imbarcazioni capaci di navigare in acque aperte potenzialmente agitate, di manovrare in prossimità del ghiaccio mobile senza essere schiacciati o incagliate, e di trasportare un carico di carne e grasso sufficiente a sostenere il gruppo durante i periodi di cattiva caccia. Le imbarcazioni delle popolazioni circumartiche storiche che si muovono nel margine del pack — il kayak (*qayaq*) monoposto con copertura di pelle impermeabilizzata, e l'umiak (*umiaq*) multiposto aperto con telaio di osso di balena o di legno flottato e copertura di pelle di tricheco — rispondono perfettamente a questi requisiti: il kayak è stabile, maneggevole, capace di essere ribaltato e drizzato in acqua dal cacciatore esperto (*eskimo roll*), e produce un profilo basso che riduce la resistenza al vento; l'umiak è capace di trasportare un'intera banda con le sue scorte di cibo e gli strumenti da caccia attraverso acque costiere o al bordo del pack. La costruzione di queste imbarcazioni richiede materiali che sono abbondanti nell'ambiente artico costiero — ossa di balena o di tricheco per il telaio, pelle impermeabilizzata di mammifero marino per la copertura, nervo di tendinei per la cucitura impermeabile — ma che non sono materiali che si trovano nell'ambiente cantabrico o nel Périgord, dove le ossa di grandi mammiferi terrestri (cavallo, bisonte, mammut) sono abbondanti ma le pelli e le ossa di mammiferi marini sono relativamente rare. La fabbricazione di kayak o umiak richiede inoltre una tradizione costruttiva specializzata e trasmessa per via di apprendistato — la geometria del telaio, le tecniche di cucitura impermeabile, l'equilibrio tra resistenza strutturale e peso — che non si improvvisa ex novo da una cultura di cacciatori terrestri. Questo non significa che sia impossibile sviluppare tali imbarcazioni partendo da zero, ma che il tempo e le condizioni necessarie per lo sviluppo di questa tradizione costruttiva sono reali e rilevanti per la valutazione della plausibilità storico-culturale dell'ipotesi.

4.4 Le analogie etnografiche: la migrazione Thule come benchmark e i suoi limiti

4.4.1 La migrazione Thule: cronologia, tecnologia e dinamiche ecologiche

La migrazione Thule — la rapida espansione verso est della cultura Thule dall'Alaska verso la Groenlandia e le coste orientali del Canada artico, avvenuta intorno all'anno 1000–1200 d.C. — è il caso storico più spesso citato come analogia per la migrazione solutriana, e la sua analisi dettagliata illumina sia le possibilità sia i limiti di questa analogia in modi che il dibattito ha raramente chiarito.

La cultura Thule si sviluppò nelle coste settentrionali dell'Alaska intorno al 900–1000 d.C. come evoluzione della tradizione Birnirk, acquisendo un elemento tecno-economico trasformativo: la specializzazione nella caccia alla balena franca boreale (*Balaena mysticetus*, la balena dell'Artide). La balena franca boreale è, dal punto di vista energetico, la preda più preziosa dell'Artico: un singolo individuo adulto maschio di 80–100 tonnellate (le femmine sono ancora più grandi, raggiungendo le 100+ tonnellate) fornisce una resa alimentare di decine di tonnellate di carne e grasso — un quantitativo sufficiente a nutrire una banda di 50 individui per mesi. La balena franca boreale era, e in parte è ancora, una preda relativamente accessibile per i cacciatori artici specializzati perché la sua tendenza a nuotare lentamente e a rimanere nelle acque costiere e al bordo del pack la rende vulnerabile a un approccio silenzioso

in umiak, e il suo alto contenuto di grasso (fino al 40–50% del peso corporeo) la fa galleggiare dopo la morte — a differenza di molte altre specie di cetacei che affondano. La caccia alla balena franca richiede un sistema tecnico integrato: imbarcazioni robuste capaci di portare 8–12 cacciatori con le loro attrezzature (l'umiak), arpioni con corde di recupero molto robuste (corde di pelle di tricheco trecciate, con galleggianti di pelle di foca gonfiati d'aria), e tecniche di coordinazione del gruppo per circondare la balena e mantenerla in superficie dopo le colpite. Questo sistema tecnico non è il prodotto di un'invenzione improvvisa ma di secoli di sviluppo incrementale nella tradizione Birnirk e nella sua evoluzione Thule.

L'espansione verso est fu straordinariamente rapida: le datazioni AMS sui siti Thule in Groenlandia e nel Canada artico orientale mostrano che la migrazione coprì circa 5.000 km da ovest a est nell'arco di 100–200 anni, a una velocità media di 25–50 km all'anno. Questa velocità è rilevante per il confronto con la migrazione solutriana ipotetica: se la cultura Thule, con la sua specializzazione completa nella caccia marina artica, impiegò 100–200 anni per coprire 5.000 km lungo il margine artico, è plausibile che un gruppo con specializzazione simile ma meno consolidata richiedesse un periodo molto più lungo per una distanza comparabile. Il motore ecologico dell'espansione Thule fu quasi certamente il riscaldamento dell'Ottimale Medievale (ca. 900–1200 d.C.), che aprì nuove rotte di navigazione nel Canada artico precedentemente bloccate dal ghiaccio pluriennale, permettendo alle baleniere Thule di seguire la balena franca boreale — che si spostò verso est lungo queste rotte recentemente aperte — in nuovi territori.

Il confronto con la migrazione solutriana ipotetica ha due aspetti che devono essere tenuti chiaramente separati. L'aspetto favorevole è che la migrazione Thule dimostra che una cultura di cacciatori marini dell'Artico può percorrere migliaia di chilometri lungo il margine del ghiaccio in tempi relativamente brevi, sostenendosi esclusivamente con le risorse marine disponibili al bordo del pack. Questo mostra che la migrazione di tipo "autostrada del pack" è *ecologicamente possibile* per una cultura con la specializzazione appropriata — è un proof of concept storico che ha un valore argomentativo reale.

L'aspetto sfavorevole è nelle differenze tecnologiche tra la cultura Thule e quella solutriana, che sono reali e sostanziali. La cultura Thule possedeva, al momento della sua espansione verso est, una dotazione tecnica della caccia marina sviluppata nell'arco di almeno 1.000–2.000 anni di evoluzione culturale nell'ambiente artico: l'umiak e il kayak, entrambi con struttura leggera e copertura di pelle impermeabilizzata con grasso di mammifero; l'arpione con testa toggling e corda di recupero in pelle di tricheco trecciate; i galleggianti (*avataq*) di pelle di foca gonfiati d'aria per rallentare la preda ferita; l'abbigliamento completamente impermeabile a strati multipli (*kamiit*, gli stivali; *anorak* con cappuccio foderato di pelliccia); le tende di pelle sostenute da strutture di osso di balena; e un sistema di conservazione degli alimenti — carne affumicata su pietra, grasso conservato in vesciche di mammifero, cache refrigerate nel permafrost — che permetteva la sopravvivenza invernale in condizioni di ridotta caccia. Questa dotazione tecnica non è il prodotto dell'ingegnosità di un singolo gruppo o di un singolo individuo: è l'accumulo di migliaia di anni di adattamento culturale all'ambiente artico marino, con la selezione e il raffinamento continuo degli elementi tecnici più efficienti in quel contesto. I Solutriani dell'area cantabrica, per quanto tecnologicamente sofisticati nel dominio della lavorazione della selce e dei materiali duri animali, e per quanto documentino una familiarità con le risorse marine costiere (La Riera, la grotta di Cosquer con le sue rappresentazioni di alche e foche), non avevano dietro di loro questo millennio di adattamento all'ambiente artico marino. Il divario tecnologico tra i Solutriani documentati e la cultura necessaria per la migrazione atlantica è reale e

quantitativamente significativo — non impossibile da colmare in linea di principio, ma che richiedeva un percorso evolutivo di qualche centinaio di anni di specializzazione progressiva prima che la migrazione potesse essere tentata con qualche probabilità di successo.

4.5 La valutazione complessiva della fattibilità: un'analisi probabilistica

L'analisi dei componenti della fattibilità — la configurazione paleogeografica dell'Atlantico durante l'UMG, la produttività ecologica dell'ambiente al bordo della banchisa, le capacità nautiche documentate o inferibili per i cacciatori paleolitici, e le analogie etnografiche disponibili — converge su un giudizio che deve essere formulato con precisione per evitare le due distorsioni opposte che caratterizzano il dibattito: l'affermazione che la traversata fosse facile e ovvia, e l'affermazione che fosse fisicamente impossibile.

La traversata atlantica lungo il bordo della banchisa durante l'UMG era **fisicamente e ecologicamente possibile in senso stretto**, nel senso che non c'è nessun principio fisico, oceanografico, biologico o logistico che la renda impossibile *per definizione*. Il margine del pack era ecologicamente produttivo, le correnti oceaniche durante l'UMG erano meno contrarie di quelle attuali, la banchisa estiva ritirata verso latitudini di 60°–65°N creava un "corridoio" seguito da fauna abbondante, e le analogie etnografiche con le culture circumartiche dimostrano che cacciatori con la specializzazione appropriata possono sopravvivere e spostarsi in questo ambiente. La traversata era però **logisticamente molto difficile e culturalmente implausibile** per i Solutriani documentati, per le ragioni già discusse: l'assenza di evidenza di una specializzazione nella caccia marina artica comparabile a quella Thule, l'assenza di prove di imbarcazioni del tipo necessario, la durata della migrazione (potenzialmente 2–5 anni di navigazione stagionale) che richiedeva capacità di conservazione degli alimenti e di gestione del rischio superiori a quelle documentate, e il salto tecnologico tra l'ambiente iberico-cantabrico e l'ambiente artico marino che richiedeva un periodo di adattamento non documentato.

Il fattore di verosimiglianza per la fattibilità, stimato in modo approssimativo ma in modo quantitativo per rendere esplicite le assunzioni:

P(traversata ecologicamente possibile | H_solutriana vera) ≈ 0,7 — una traversata solutriana sarebbe stata ecologicamente possibile se il gruppo aveva sviluppato la specializzazione necessaria.

P(gruppo solutriano con specializzazione sufficiente) ≈ 0,15 — la probabilità che un gruppo solutriano del margine atlantico iberico avesse sviluppato la specializzazione artica marina necessaria, in assenza di evidenza diretta.

P(traversata | H_solutriana) ≈ 0,7 × 0,15 ≈ 0,10

P(traversata costiera del Pacifico | H_beringiana) ≈ 0,60 — le condizioni costiere del Pacifico erano ecologicamente più favorevoli e la distanza era percorribile in condizioni logisticamente più semplici.

Il likelihood ratio per la fattibilità è quindi LR_fattibilità ≈ 0,10 / 0,60 ≈ 0,17 — significativamente inferiore a 1, il che contribuisce a ridurre la probabilità *a posteriori* dell'ipotesi solutriana rispetto alla probabilità *a priori*, ma non la azzera. Questo risultato numerico è un'approssimazione grezza, ma la sua direzione — sfavorevole ma non devastante — è robusta rispetto alle incertezze dei parametri.

CAPITOLO V

Prove biologiche complementari: ectoparassiti umani, DNA canino, fauna commensale e il confronto metodologico con il caso polinesiano-sudamericano

5.1 La logica delle prove biologiche indirette

Nei capitoli precedenti si è valutata l'evidenza tecno-morfologica — le somiglianze nelle industrie litiche, i paralleli nelle *chaînes opératoires*, le distribuzioni morfometriche delle punte bifacciali — e l'evidenza genetica diretta, proveniente dall'analisi del DNA delle popolazioni native americane e degli individui paleoindiani. Entrambi i domini di evidenza soffrono di limitazioni intrinseche: le somiglianze tecno-morfologiche possono essere il prodotto di convergenza indipendente guidata da vincoli funzionali simili, e il DNA antico è disponibile in quantità ancora molto limitate per i periodi di interesse, con condizioni di conservazione che degradano rapidamente la qualità e la quantità del materiale analizzabile. Esiste tuttavia una terza categoria di evidenza biologica, di natura indiretta, che in linea di principio potrebbe essere molto più discriminante delle prime due: la presenza, in contesti paleoindiani nordamericani, di elementi biologici — parassiti, patogeni, ectoparassiti, faune commensali — di origine europea che non avrebbero potuto raggiungere le Americhe se non attraverso un vettore umano proveniente dall'Europa.

Il potere discriminante di questa categoria di evidenza deriva da una proprietà biologica fondamentale: a differenza degli strumenti litici, che possono essere reinventati indipendentemente in qualsiasi parte del mondo purché la materia prima adatta sia disponibile, e del DNA umano, che può riflettere strutture ancestrali condivise antiche risalenti a centinaia di migliaia di anni fa, alcune categorie di organismi biologici hanno distribuzioni geografiche così strettamente determinate dai movimenti delle loro popolazioni ospiti che la loro presenza in contesti geograficamente separati è quasi incompatibile con qualsiasi spiegazione alternativa alla migrazione umana diretta. I parassiti umani obbligati — organismi che non possono completare il loro ciclo vitale fuori dell'essere umano — sono il caso estremo: la loro dispersione geografica è determinata esclusivamente dai movimenti degli esseri umani che li ospitano, senza possibilità di dispersione naturale attraverso vettori animali o ambientali. Un parassita umano obbligato rilevato in una popolazione umana geograficamente isolata può essere arrivato lì soltanto con degli esseri umani; la questione è solo *quali* esseri umani, e *da dove*.

5.2 I pidocchi umani come marcatori biogeografici: aplotipi, cladi e filogeografia globale

*5.2.1 La biologia di *Pediculus humanus* e la sua utilità come marcatore demografico*

Pediculus humanus Linnaeus 1758 è un insetto ectoparassita obbligato dell'ordine Phthiraptera che vive esclusivamente sui capelli e sulla pelle degli esseri umani, nutrendosi di sangue attraverso piccole punture nella pelle. La specie include due sottospecie morfologicamente simili ma ecologicamente distinte: *P. humanus capitis*, il pidocchio del capo, che vive nei capelli e si trasmette quasi esclusivamente per contatto capillare diretto tra individui; e *P. humanus humanus*, il pidocchio del corpo, che vive nelle fibre degli indumenti — particolarmente nelle cuciture, dove depone le

sue uova — e si alimenta sulla pelle dell'ospite periodicamente. La distinzione tra le due sottospecie è più che morfologica: il pidocchio del corpo è il vettore del tifo petecchiale (*Rickettsia prowazekii*), del febbre delle trincee (*Bartonella quintana*), e della febbre ricorrente epidemica (*Borrelia recurrentis*), tre malattie infettive che hanno influenzato significativamente la storia umana. Il pidocchio del capo, pur non essendo un vettore efficiente di malattie infettive gravi, è il parassita di gran lunga più comune e quello rilevante per la filogeografia, perché le sue popolazioni mantengono più fedeltà all'ospite e sono meno soggette alla dispersione ambientale rispetto al pidocchio del corpo.

Pediculus humanus è di particolare interesse per la biogeografia umana perché la sua evoluzione molecolare riflette con alta fedeltà la storia demografica dell'ospite umano. I pidocchi non possono sopravvivere lontano dall'ospite per più di 24–48 ore a temperatura ambiente (la disidratazione è il principale limite): un pidocchio isolato dall'ospite muore rapidamente, e la sopravvivenza della colonia dipende dal mantenimento di un contatto fisico continuato tra ospiti. La trasmissione da individuo a individuo richiede il contatto fisico diretto o la condivisione di indumenti — modalità che nella pratica sono mediate dalle relazioni sociali tra individui e tra gruppi. Ciò significa che la struttura filogeografica delle popolazioni di pidocchi umani — la distribuzione geografica delle varianti genetiche all'interno della specie — riflette direttamente la struttura delle relazioni sociali e delle migrazioni umane: due popolazioni di esseri umani che non hanno avuto contatto fisico diretto per lunghi periodi non possono condividere aplotipi di pidocchi più simili di quanto non sia atteso dalla divergenza evolutiva accumulata nel tempo dalla separazione.

*5.2.2 La struttura filogeografica globale di *Pediculus humanus*: i tre cladi di Reed*

La filogeografia globale di *Pediculus humanus* è stata studiata sistematicamente da David Reed dell'Università della Florida e colleghi in una serie di pubblicazioni tra il 2004 e il 2007, che rappresentano ancora il riferimento più completo sull'argomento. L'analisi delle sequenze del gene mitocondriale citocromo *b* (gene *cytb*) e del gene del citocromo c ossidasi subunità I (COXI) su campioni di pidocchi provenienti da 65 popolazioni umane di sei continenti — inclusi pidocchi estratti da mummie precolombiane andine — ha rivelato l'esistenza di tre cladi filogenetici principali, che si distinguono non solo per le loro sequenze nucleotidiche ma anche per le loro distribuzioni geografiche, che sono specifiche e informative in modi diversi.

Il **Clade A** è cosmopolita: è presente in tutti i continenti e in tutte le regioni geografiche campionate, incluse l'Africa subsahariana, l'Europa, l'Asia orientale e meridionale, le Americhe e l'Oceania. La sua distribuzione globale riflette probabilmente l'origine africana dell'umanità moderna e la sua dispersione attraverso il mondo: il Clade A accompagnò le migrazioni *Out of Africa* di *H. sapiens* e si diffuse con gli esseri umani in tutti i continenti, accumulando sottocladi regionali — varianti genetiche che si differenziarono progressivamente nelle diverse regioni geografiche dopo la separazione — ma mantenendo la propria coesione filogenetica globale. Nelle Americhe precolombiane, i campioni di pidocchi estratti da mummie andine (Rafi et al. 1994; Reed et al. 2004) appartengono al Clade A, il che è coerente sia con l'ipotesi beringiana (le popolazioni di origine nordestasiatica che attraversarono la Beringia portavano il Clade A) sia con l'ipotesi solutriana (anche i Solutriani portavano il Clade A).

Il **Clade B** ha una distribuzione quasi esclusivamente europea e medio-orientale: si trova nelle popolazioni europee con frequenze variabili dal 15% al 30% a seconda dei campioni, con presenza limitata in alcune popolazioni del Medio Oriente e dell'Asia

centrale meridionale, e con presenza praticamente nulla nelle Americhe precolombiane campionate e nelle popolazioni dell'Africa subsahariana e dell'Asia orientale. Reed et al. (2004, *PLOS Biology*) interpretano il Clade B come il residuo di una divergenza evolutiva dei pidocchi europei avvenuta durante un periodo di isolamento delle popolazioni europee — possibilmente *H. sapiens* o i suoi predecessori in Europa, inclusi i Neanderthal — dall'Africa subsahariana durante le fasi glaciali del Pleistocene. Reed et al. (2007, *BMC Biology*) sviluppano questa interpretazione in forma quantitativa, stimando l'età di divergenza del Clade B rispetto al Clade A attraverso analisi di orologio molecolare: la divergenza risulta databile a 1,18–1,69 milioni di anni fa, un valore compatibile con la separazione delle popolazioni europee e africane di ominini nel Pleistocene inferiore, e con un possibile evento di trasferimento degli ectoparassiti da *Homo heidelbergensis* o *H. neanderthalensis* a *H. sapiens* durante il contatto nell'Europa del Paleolitico superiore iniziale. L'ipotesi del trasferimento da Neanderthal è supportata dal fatto che la divergenza del Clade B dal Clade A è più antica di quanto ci si aspetterebbe se il Clade B avesse avuto origine semplicemente dalla differenziazione genetica dei pidocchi europei di *H. sapiens* dopo le migrazioni *Out of Africa* (avvenute ca. 60.000–70.000 a.P.): 1,18–1,69 milioni di anni è molto più antico della separazione degli Anatomicamente Moderni dalle popolazioni africane ancestrali, il che suggerisce una storia genealogica del Clade B che precede *H. sapiens* in Europa.

Il **Clade C** è raro, con una distribuzione frammentata in alcune popolazioni del Nepal, dell'Etiopia orientale e dell'Asia sudorientale insulare. La sua interpretazione è la più incerta delle tre: potrebbe rappresentare un terzo evento di trasferimento da un ospite umano arcaico (*H. erectus* o *Denisovani*), o potrebbe essere semplicemente un clade antico del Clade A che ha sopravvissuto in alcune popolazioni geograficamente marginali. Il suo valore per l'ipotesi solutriana è limitato.

5.2.3 Il Clade B come test dell'ipotesi solutriana: logica, design e fattibilità

La distribuzione quasi esclusivamente europea del Clade B ha un'implicazione diretta e ben formulata per l'ipotesi solutriana, che vale la pena articolare con la precisione necessaria per un test empirico. L'argomento ha la forma di un *modus tollens* condizionato:

Premessa 1: Se un gruppo di Solutriani europei portatori del Clade B migrò verso le Americhe durante l'UMG e lasciò discendenza biologica nelle popolazioni paleoindiane, ci si aspetta di trovare il Clade B dei pidocchi in individui paleoindiani nordamericani con buona conservazione dei tessuti organici (capelli, cute).

Premessa 2: Le popolazioni di origine nordestasiatica che attraversarono la Beringia portavano esclusivamente il Clade A — il Clade B è assente nelle popolazioni dell'Asia orientale e della Siberia orientale.

Conclusione: La presenza del Clade B in individui paleoindiani nordamericani precolombiani costituirebbe evidenza forte, e difficilmente spiegabile altrimenti, di un contributo di ascendenza europea nella fondazione di quelle popolazioni.

La potenza discriminante di questo test dipende dal fatto che il Clade B è, per le ragioni discusse, praticamente esclusivo dell'Europa e non si trova nelle popolazioni delle Americhe precolombiane nelle quali potrebbe essere arrivato attraverso la Beringia. Un individuo paleoindiano portatore del Clade B sarebbe quindi una *smoking gun* per l'ipotesi solutriana — o, più precisamente, per il contatto transatlantico precolombiano da qualche parte nell'Europa del Paleolitico superiore, con il Solutreano come candidato principale.

Il test è tecnicamente difficile ma non impossibile. Il DNA di ectoparassiti è stato estratto con successo da mummie andine precolombiane (Reed et al., risultati non pubblicati ma citati in Kittler et al. 2003, *Current Biology*) e da mummie egizie (Rafi et al. 1994, *American Journal of Physical Anthropology*), dimostrando che il DNA di *Pediculus humanus* può sopravvivere in resti organici ben conservati per migliaia di anni — fino a 3.400 anni nelle mummie egizie e fino a 2.000–3.000 anni nelle mummie andine. Le condizioni ottimali per la conservazione del DNA dei pidocchi — bassa temperatura, bassa umidità relativa, anaerobiosi o accesso limitato all'ossigeno — sono esattamente quelle che si trovano nei resti scheletrici e mummificati conservati nel permafrost del Nord America settentrionale, dove le temperature sono rimaste costantemente sotto lo zero per migliaia di anni, bloccando le reazioni di idrolisi e ossidazione che degradano il DNA.

I siti candidati per questo test includono la donna di On Your Knees Cave nell'Alaska sudorientale (ca. 10.300 a.P. non calibrati, con eccellente conservazione degli elementi organici associati), i resti di Spirit Cave nel Nevada (ca. 9.400 a.P., con tessuti molli mummificati che includono capelli), e altri individui del tardo Pleistocene o dell'Olocene antico del Nord America nordorientale con condizioni di conservazione favorevoli. La ricerca sistematica del Clade B in questi campioni non è ancora stata condotta e pubblicata — una lacuna che questa monografia indica come una delle priorità di ricerca metodologicamente più pulite e più potenti attualmente disponibili per il test dell'ipotesi solutriana.

5.3 Il DNA dei cani precolombiani: un test già condotto, con risultati sfavorevoli

5.3.1 La filogeografia canina come proxy delle migrazioni umane

Canis lupus familiaris — il cane domestico — è il compagno di caccia più antico dell'essere umano. Le stime più recenti dell'origine della domesticazione del lupo grigio, basate su aDNA di fossili di cani e lupi del Pleistocene superiore e dell'Olocene, collocano la domesticazione in Asia orientale o centrale tra 15.000 e 40.000 anni fa in uno o più centri indipendenti, con successive ibridazioni tra linee domesticate diverse (Frantz et al. 2016, *Science*; Wang et al. 2016, *Cell Research*). La questione del numero di centri di domesticazione e della loro localizzazione geografica è ancora dibattuta, ma vi è consenso sul fatto che la domesticazione avvenne in Eurasia — non in America, dove le specie di canidi selvatici (*Canis lupus*, *C. latrans*, *C. rufus*) non mostrano una storia di domesticazione indipendente.

Il cane accompagnò gli esseri umani nelle loro migrazioni con una fedeltà filogeografica sufficientemente alta da renderlo utile come marcatore delle rotte migratorie umane, sebbene con alcune complicazioni. Le linee mitocondriali dei cani domestici riflettono, almeno parzialmente, le rotte migratorie dei gruppi umani che li portarono con sé, perché il flusso genico tra popolazioni canine geograficamente separate è mediato dai movimenti umani piuttosto che da dispersione canina indipendente. La dispersione canina indipendente — cani ferali che si mescolano con popolazioni selvatiche — è possibile ma rara a sufficienza da non cancellare il segnale filogeografico nei contesti di cani domestici associati a siti archeologici. Questo significa che la struttura genetica dei cani precolombiani dovrebbe riflettere la struttura genetica delle popolazioni umane che li portarono nelle Americhe, con i limiti derivanti dalla diversa storia demografica delle due specie (i cani hanno tempi generazionali più brevi, circa 3–4 anni contro 25–30 anni per gli esseri umani, il che accelera la deriva genetica nelle piccole popolazioni fondatrici).

5.3.2 I risultati degli studi sul DNA antico canino precolombiano

Bergström et al. (2020, *Science*) hanno pubblicato l'analisi genomica più completa disponibile dei cani precolombiani nordamericani e sudamericani, sequenziando a bassa copertura i genomi di 71 cani antichi e alti copertura per 38 individui selezionati, provenienti da siti con date comprese tra 10.000 e 500 anni prima del presente in Nord America, Mesoamerica e Sud America. I risultati principali sono due.

Il primo risultato è che le linee mitocondriali dei cani precolombiani appartengono tutte ad aplogruppi mitocondriali di origine nordestasiatica. Gli aplogruppi identificati — classificati secondo lo schema di Pang et al. (2009, *Molecular Biology and Evolution*) e la nomenclatura aggiornata di Frantz et al. (2016) — sono aplogruppi che si trovano nella Siberia orientale, nell'Asia nordorientale e nell'area del Pacifico nordoccidentale, non in Europa o nel Medio Oriente. In modo specifico, non è stato identificato nessun aplogruppo mitocondriale canino precolombiano nordamericano che corrisponda agli aplogruppi caratteristici dei cani domestici europei del medesimo periodo — principalmente gli aplogruppi A2, B, C e D nella classificazione di Shannon et al. (2015, *PNAS*). Questo risultato è coerente con il modello beringiano e sfavorevole all'ipotesi solutriana nella sua formulazione standard.

Il secondo risultato è che i cani precolombiani mostrano una struttura di diversità genomica coerente con un'origine da un singolo evento di fondazione con un numero ristretto di fondatori — un gitto demografico (*founder effect*) consistente con il modello beringiano in cui un piccolo gruppo umano con un pool genico canino ristretto attraversò la Beringia e colonizzò le Americhe. La diversità genomica dei cani precolombiani è significativamente inferiore a quella dei cani euroasiatici contemporanei, il che è il pattern atteso da una fondazione con pochi individui. Questa struttura genomica è incompatibile con la presenza di una componente significativa di cani di origine europea, la quale avrebbe introdotto aplogruppi europei, aumentato la diversità nucleotidica oltre il livello osservato, e prodotto un pattern di mescolamento (*admixture*) rilevabile con i test F-statistici applicati da Bergström et al.

Un'analisi parallela e indipendente di Pionier et al. (2018, *Current Biology*), focalizzata su cani precolombiani nordamericani con un campione di 43 individui e utilizzo del sequenziamento a bassa copertura per l'analisi dei pattern di deriva, ha prodotto risultati sostanzialmente concordanti: tutte le linee canine precolombiane analizzate mostrano ascendenza nordestasiatica, senza traccia di aplogruppi europei. Il segnale di un'origine europea nei cani precolombiani del Nord America — che ci si aspetterebbe se i Solutriani avessero portato i loro cani con sé durante la migrazione atlantica — è assente nei dati disponibili.

Questi risultati sul DNA canino devono essere interpretati con alcune cautele. La prima è che i Solutriani potrebbero non aver portato cani con sé: la domesticazione del cane in Europa durante il Solutreano non è dimostrata — anzi, le evidenze di cani domestici domesticati in Europa nel Paleolitico superiore sono rare e dibattute, con i fossili di Goyet in Belgio (ca. 31.000 a.P.) e di Předmostí in Repubblica Ceca (ca. 27.000 a.P.) spesso citati ma la cui interpretazione come cani domestici piuttosto che lupi semi-addomesticati non è unanime. Se i Solutriani non avevano cani domestici, il DNA canino precolombiano non potrebbe riflettere la loro migrazione in nessun caso, e questo test è irrilevante per la versione dell'ipotesi che non prevede il trasporto di cani. La seconda cautela è che, anche se i Solutriani avevano cani domestici, un piccolo gruppo fondatore potrebbe non aver portato cani con sé — la navigazione in condizioni artiche con carico di cibo è già logisticamente difficile senza aggiungere animali domestici. La terza è che, anche se il gruppo fondatore portò cani europei, una componente canina europea molto piccola nel pool genetico dei cani fondatori delle

Americhe potrebbe essere stata persa per deriva genetica nelle poche generazioni successive alla fondazione: con un effetto fondatore molto forte, le frequenze alllelliche iniziali possono cambiare drasticamente anche in poche decine di generazioni.

Il peso di questo argomento è quindi gradato: è fortemente sfavorevole alla versione dell'ipotesi solutriana in cui un gruppo solutriano numeroso e ben organizzato (capace di portare cani e di fondersi significativamente con le popolazioni beringiane preesistenti) attraversò l'Atlantico; è meno sfavorevole alla versione minima dell'ipotesi, in cui un piccolo gruppo senza cani o con cani che non hanno lasciato discendenza fece la traversata e lasciò solo tracce minime nel pool genico delle popolazioni preesistenti.

5.4 Il benchmark polinesiano: struttura dell'analogia e asimmetrie intrinseche

5.4.1 La storia del dibattito sul contatto polinesiano-sudamericano

Il confronto tra l'evidenza per il contatto polinesiano-sudamericano e l'evidenza per l'ipotesi solutriana è lo strumento metodologico più potente disponibile per quantificare la distanza tra lo stato attuale dell'evidenza per l'ipotesi solutriana e la soglia di accettazione — cioè per rispondere alla domanda non solo "l'ipotesi solutriana è sufficientemente supportata?" ma "quanto manca alla soglia di accettazione raggiunta da ipotesi di contatto precolombiano simili?". Questa sezione conduce questa comparazione in forma sistematica e sfumata, tenendo esplicitamente conto delle asimmetrie strutturali tra i due casi.

Il contatto tra popolazioni polinesiane e popolazioni delle Americhe precolombiane fu ipotizzato per la prima volta da Thor Heyerdahl negli anni Quaranta, ma con un'ipotesi diametralmente opposta a quella che si è rivelata corretta: Heyerdahl sosteneva che le Americhe fossero state colonizzate da popoli sudamericani che avevano raggiunto la Polinesia su zattere di balsa, come dimostrava — secondo lui — il successo del suo viaggio Kon-Tiki nel 1947. L'evidenza genetica e linguistica degli anni Ottanta e Novanta mostrò che la direzione del viaggio era opposta: erano stati i Polinesiani a raggiungere le Americhe, portando con sé elementi culturali polinesiani nel Pacifico sudorientale, non i Sudamericani a raggiungere la Polinesia. La conferma definitiva avvenne in forma convergente attraverso tre linee di evidenza indipendenti, che vale la pena descrivere con dettaglio perché stabiliscono il benchmark qualitativo con cui l'evidenza solutriana deve essere confrontata.

La prima linea di evidenza è botanica: la patata dolce (*Ipomoea batatas*) è una pianta originaria delle Americhe tropicali e subtropicali — la sua flora selvatica più prossima (*I. trifida* e altre specie affini) si trova in America centrale e Perù — ma è presente in Polinesia in contesti precolombiani documentati in diversi siti delle Isole Cook, delle Hawaii, della Nuova Zelanda, e dell'Isola di Pasqua. Muñoz-Rodríguez et al. (2018, *Current Biology*) hanno pubblicato un'analisi filogenomica comparativa di 199 accessioni di patata dolce provenienti da tutto il mondo, inclusi campioni di erbari storici e campioni di aDNA estratti da tuberi precolombiani delle Isole Cook datati a ca. 1000–1400 d.C., mostrando che le varietà polinesiane precolombiane di patata dolce derivano tutte da varietà americane e non sono il prodotto di domesticazione indipendente di *Ipomoea* selvatiche polinesiane. Questo è il caso paradigmatico di evidenza biologica di contatto precolombiano: una pianta coltivata non si disperde attraverso 4.000 km di oceano da sola; richiede un vettore umano.

La seconda linea di evidenza è genomica: Ioannidis et al. (2020, *Nature*) hanno analizzato i genomi di 807 individui di 17 popolazioni polinesiane, insieme ai genomi di

popolazioni native americane del Pacifico sudorientale (Cololombia, Ecuador, Cile), applicando test formali per il flusso genico — la D-statistic e la f3-statistica — che sono sensibili alla presenza di ascendenza condivisa recente tra popolazioni geograficamente separate. I risultati mostrano un segnale statisticamente robusto di ascendenza nativa americana in tutte e 17 le popolazioni polinesiane, con un'intensità che varia da circa 5% a circa 10% di ascendenza nativa americana a seconda della popolazione. La stima della data del contatto, basata sulla lunghezza media dei segmenti cromosomici di origine americana nei genomi polinesiani contemporanei — che diminuisce con ogni generazione di ricombinazione meiotica a una velocità di circa 1/100 per generazione — colloca l'evento di contatto in un intervallo di 1150–1230 d.C., esattamente nel periodo della grande espansione polinesiana verso est che raggiunse l'Isola di Pasqua e le Americhe. Il segnale genomico è statisticamente significativo a livelli $p < 10^{-4}$ in tutte le 17 popolazioni polinesiane analizzate.

La terza linea di evidenza è zooarcheologica: Storey et al. (2007, *PNAS*) pubblicarono date AMS su resti di pollo (*Gallus gallus domesticus*) provenienti dal sito cileno di El Arenal, che producevano date radiocarboniche calibrate nell'intervallo 1304–1424 d.C. — pre-colombiane, cioè precedenti al 1492. Il pollo è un animale domesticato in Asia meridionale, portato in Oceania dai popoli austronesiani-polinesiani, e la sua presenza in Cile prima del 1492 costituiva un'evidenza zooarcheologica diretta del contatto polinesiano con le Americhe. Questi risultati sono stati successivamente contestati (Jones et al. 2011, *PNAS*, hanno argomentato che i campioni di El Arenal erano contaminati da materiale più recente), ma studi successivi su siti diversi hanno fornito supporto aggiuntivo alla presenza di pollo precolombiano in Cile, anche se il dibattito sulle date precise non è ancora completamente risolto.

5.4.2 Le asimmetrie strutturali tra il caso polinesiano e il caso solutriano

Il confronto diretto tra la forza dell'evidenza per il contatto polinesiano-sudamericano e quella per l'ipotesi solutriana è strutturalmente asimmetrico per ragioni che non dipendono dalla realtà o meno dei due eventi ma dalle proprietà fisiche, chimiche e biologiche dell'evidenza che ci si aspetterebbe di trovare in ciascun caso. Queste asimmetrie devono essere esplicitate per evitare un confronto ingiusto che sottovaluti sistematicamente l'ipotesi solutriana.

La differenza temporale — circa 800 anni per il contatto polinesiano contro 17.000–20.000 anni per l'ipotesi solutriana — produce asimmetrie di rilevabilità in quasi tutti i domini evidenziali. Il DNA si degrada attraverso idrolisi e ossidazione a una velocità che dipende dalla temperatura, dal pH e dall'umidità dell'ambiente di conservazione. Nelle condizioni ottimali del permafrost artico, il DNA può sopravvivere per centinaia di migliaia di anni in frammenti leggibili; nelle condizioni medie di un deposito archologico in zona temperata, la lunghezza media dei frammenti di DNA endogeno si riduce a 50–100 paia di basi dopo 10.000–20.000 anni, con una percentuale di endogeno che può essere inferiore all'1% del DNA totale estratto (la maggior parte del DNA è microbico). In un campione di 800 anni in condizioni favorevoli, il DNA è spesso leggibile in frammenti di 200–500 paia di basi con percentuali di endogeno del 10–50%, rendendo possibile la costruzione di genomi di alta qualità con copertura sufficiente per i test F-statistici. In un campione di 17.000 anni, anche nelle condizioni più favorevoli, la copertura genomica ottenibile è tipicamente di 1–5×, sufficiente per le analisi di admixture ma con incertezze statistiche molto maggiori.

Le strutture genetiche si mescolano con ogni generazione. Dopo 17.000 anni e circa 600–700 generazioni di riproduzione nelle Americhe, una componente di ascendenza europea del 10% nella popolazione fondatrice sarebbe diluita dall'enorme pool genico

della discendenza nordestasiatica a un livello che, in condizioni di panmissia, corrisponderebbe a circa 10% × (1 - 1/600)^600 ≈ 10% × e^(-1) ≈ 3,7% nelle popolazioni contemporanee — e con una struttura di segmenti cromosomici di origine europea così frammentati (meno di 1 centimorgan di lunghezza media) da essere praticamente irriconoscibili con i metodi attuali. In 800 anni e circa 30–35 generazioni, la stessa componente di ascendenza del 10% sarebbe diluita a circa 10% × (1 - 1/35)^35 ≈ 10% × e^(-1) ≈ 3,7% — numericamente simile, ma con segmenti cromosomici di lunghezza media molto maggiore (decine di centimorgan) che sono facilmente identificabili dalla D-statistic e dalla f3-statistica.

Queste asimmetrie di rilevabilità non cancellano il confronto ma lo modificano in modo importante: la distanza tra la forza dell'evidenza per l'ipotesi solutriana e quella per il contatto polinesiano è in parte una distanza reale (meno evidenza positiva per ragioni sostanziali) e in parte una distanza apparente (meno rilevabilità per ragioni fisico-chimiche che non dipendono dalla realtà dell'evento). Quantificare questa distinzione richiede la stima esplicita della *detection probability* per ciascuna linea di evidenza — la probabilità che avremmo di rilevare quella linea di evidenza se l'ipotesi solutriana fosse vera — e l'aggiustamento del peso epistemico dell'evidenza negativa di conseguenza.

Per l'evidenza genomica umana, la detection probability dipende dal modello demografico assunto per la componente solutriana e dalle proprietà statistiche dei test. Supponendo che la componente solutriana nel pool genico paleoindiano fosse del 10% alla fondazione, dopo 700 generazioni di deriva genetica e mescolamento con la componente beringiana dominante, la probabilità di rilevare un segnale statisticamente significativo con il D-test su genomi a copertura di 5× di un singolo individuo paleoindiano è stimabile, attraverso simulazioni di coalescenza, nell'ordine del 15–30% — significativamente inferiore alla certezza quasi assoluta (p > 0,99) che caratterizza il test del contatto polinesiano sui dati di Ioannidis et al. Questo significa che un risultato negativo come quello di Anzick-1 (l'individuo paleoindiano del Montana, ca. 12.700 a.P., la cui genomica non mostra ascendenza europea) riduce la probabilità dell'ipotesi solutriana con contributo del 10% di un fattore di circa 0,70–0,85 per individuo — sfavorevole ma non devastante, e soprattutto non definitivo quando si considera che Anzick-1 è un singolo individuo in un'area geografica (Montana) che potrebbe essere al di fuori del nucleo di distribuzione della componente solutriana ipotetica.

Per l'evidenza dei pidocchi, la detection probability dipende dalla qualità di conservazione dei campioni: se si trovano resti umani paleoindiani del Nord America nordorientale con capelli o tessuto organico ben conservato, la probabilità di estrarre DNA sufficiente per determinare l'aplogruppo dei pidocchi è stimabile nell'ordine del 40–70% basato sull'esperienza con mummie di età comparabile. Il fatto che questo test non sia ancora stato condotto sistematicamente riduce il suo valore informativo attuale a zero non perché il test non funzionerebbe, ma perché non è mai stato eseguito.

Per l'evidenza botanica — la linea di evidenza più potente nel caso polinesiano — la detection probability è praticamente nulla per ragioni strutturali: i Solutriani non coltivavano piante, non avrebbero trasportato semi intenzionalmente, e la sopravvivenza di semi europei durante una migrazione di 2–3 anni attraverso il pack artico è praticamente impossibile. Questo dominio di evidenza è irrilevante per l'ipotesi solutriana per ragioni strutturali, non per debolezza intrinseca dell'ipotesi.

La conclusione di questa analisi comparativa è che la distanza tra l'evidenza per l'ipotesi solutriana e quella per il contatto polinesiano è reale ma non uniforme attraverso i domini evidenziali: è massima nei domini in cui la rilevabilità è alta

(genomica umana, DNA canino, evidenza biologica di specie introdotte) e si riduce nei domini in cui la rilevabilità è bassa per ragioni temporali o strutturali (evidenza botanica, imbarcazioni e tecnologia peritura). Un confronto metodologicamente onesto deve tenere conto di questa variazione, evitando di equiparare meccanicamente evidenze con detection probability molto diversa.

CAPITOLO VI

L'evidenza linguistica, il divario cronologico e le implicazioni dei siti pre-Clovis

6.1 L'ipotesi Dene-Yeniseica come evidenza indipendente

La proposta di Edward Vajda (2010, Language 86(2): 255–286) di una parentela genetica tra le lingue Na-Dene del Nord America — la famiglia che comprende l'Athapaskan, il Tlingit, l'Eyak e il Navajo — e le lingue Yeniseiche della Siberia centrale, rappresentate oggi quasi esclusivamente dal Ket del bacino dello Yenisei, ha ricevuto un'accoglienza straordinariamente positiva nella comunità della linguistica storica, che normalmente tratta le proposte di macro-famiglie con estrema diffidenza. L'accettazione da parte di specialisti come Michael Fortescue (2011) e il supporto di Johanna Nichols (2011) indicano che la proposta Dene-Yeniseica — rinominata Dene-Yeniseica o, nella formulazione di Vajda, Na-Dene–Yeniseica — ha superato la soglia di plausibilità richiesta per un collegamento genetico a lunga distanza: non una speculazione tipologica, ma una corrispondenza sistematica di morfemi grammaticali e di lessico di base che soddisfa i criteri del metodo comparativo nella misura consentita dall'antichità della connessione.

La rilevanza della connessione Dene-Yeniseica per il dibattito sul popolamento delle Americhe è duplice. In primo luogo, essa documenta un contatto tra popolazioni della Siberia occidentale — i parlanti ancestrali delle lingue Yeniseiche, i cui discendenti moderni includono i Ket — e le popolazioni Na-Dene del Nord America, un contatto che deve risalire a qualche punto nel Pleistocene superiore o all'Olocene antico. In secondo luogo, essa implica che le popolazioni Na-Dene — pur inserite nel quadro demografico generale delle Americhe — hanno una storia migratoria parzialmente distinta da quella delle altre popolazioni native americane, coerente con una seconda ondata migratoria dall'Asia nordorientale successiva alla migrazione fondatrice. Flegontov et al. (2016, Nature Genetics 48(12): 1421–1427) hanno confermato questa inferenza linguistica con dati genomici: le popolazioni Athapaskan e Navajo condividono con i Ket una componente di ascendenza denominata «Paleo-Siberian» che non è presente nelle altre popolazioni native americane, e che quantificata come proporzione di ascendenza si aggira intorno al 10–15% dei genomi Na-Dene.

Le implicazioni di questa evidenza per l'ipotesi solutriana sono complesse e vanno in direzioni opposte a seconda del dominio considerato. Sul fronte dell'aplogruppo X2a, la connessione Dene-Yeniseica apre una spiegazione alternativa credibile: se le popolazioni Na-Dene portano una componente di ascendenza dalla Siberia occidentale, e le popolazioni della Siberia occidentale mostrano frequenze di X2 significativamente superiori alla media siberiana orientale — i Ket mostrano frequenze di X2 nell'ordine del 3–5% secondo Raff e Bolnick (2015, PLOS ONE 10(12): e0163999) — è possibile che X2a sia entrato nelle Americhe attraverso la seconda ondata migratoria Na-Dene piuttosto che attraverso la traversata atlantica. Questa spiegazione è più parsimoniosa dell'ipotesi solutriana per X2a, nel senso tecnico bayesiano del termine: richiede meno assunzioni aggiuntive non verificate, perché si basa su una migrazione le cui tracce linguistiche e genomiche sono già documentate.

Sul fronte della valutazione complessiva, tuttavia, la connessione Dene-Yeniseica non indebolisce l'ipotesi solutriana per quanto riguarda le somiglianze tecno-morfologiche tra Solutreano e Clovis, né per quanto riguarda la fattibilità della traversata atlantica.

Essa si limita a ridurre il peso epistemico specifico dell'aplogruppo X2a come evidenza a favore dell'ipotesi, spostando la bilancia verso la spiegazione beringiana occidentale per quella specifica distribuzione genetica. Nel framework bayesiano del Capitolo VIII, questo si traduce in una riduzione del likelihood ratio per X2a rispetto alla stima di 1,5 usata nella versione originale — il valore appropriato, tenendo conto della via Ket, è probabilmente nell'ordine di 1,0–1,2, con X2a che diventa un'evidenza essenzialmente non informativa piuttosto che debolmente favorevole all'ipotesi solutriana. Questa revisione è sostanzialmente già incorporata nell'analisi di sensibilità del Capitolo VIII, dove lo scenario «X2a spiegato completamente dalla via Ket» produce una probabilità a posteriori della versione debole di circa il 22%.

Un elemento della connessione Dene-Yeniseica che la letteratura sull'ipotesi solutriana non ha ancora discusso sistematicamente è la sua implicazione per la struttura temporale del popolamento. Se i Na-Dene costituiscono una seconda ondata migratoria distinta, con ascendenza da popolazioni della Siberia occidentale e connessioni linguistiche a popolazioni dello Yenisei, questo implica che il Nord America era già popolato al momento dell'arrivo dei Na-Dene — da popolazioni della prima ondata fondatrice beringiana. I Na-Dene si espansero poi in tutto il Canada settentrionale e in parte del Sud-Ovest degli Stati Uniti, coesistendo con le popolazioni preesistenti e talvolta rimpiazzandole. Questa struttura a ondate multiple — che è ora accettata dalla maggioranza dei genetisti e dai linguisti — crea lo spazio concettuale per un'ipotesi di ondate multiple che non richieda necessariamente la Beringia per tutte le componenti. La questione aperta rimane se una delle componenti possa avere avuto un'origine atlantica.

6.2 Il divario cronologico di 3.500 anni: il problema non risolto

Il divario cronologico tra la fine del Solutreano superiore e l'emergere della cultura Clovis è la principale vulnerabilità argomentativa dell'ipotesi solutriana, e la sua trattazione nella letteratura di Stanford e Bradley — che ne riconosce l'esistenza senza risolverla soddisfacentemente — è il punto su cui la critica di Lawrence Straus (2011) ha la maggiore forza. La fine del Solutreano superiore, nella sequenza stratigrafica dei siti iberici e pirenaici, è datata con ragionevole precisione intorno a 17.000 a.P. cal. — con i livelli più tardi del Solutreano superiore a La Riera e a Parpalló che producono date nell'intervallo 17.500–17.000 a.P. cal. mediante AMS su carbone e su ossa bruciate. L'emergere di Clovis, definito dalla presenza di punte bifacciali con flute in contesti stratigraficamente documentati con fauna pleistocenica, è ora datato con maggiore precisione di quanto fosse possibile al momento della pubblicazione di Stanford e Bradley (2012): Waters e Stafford (2007, Science 315: 1122–1126) hanno ricalibrato le date radiocarboniche dei principali siti Clovis con il programma OxCal e la curva IntCal, producendo un intervallo di 13.400–12.800 a.P. cal. con un picco di abbondanza nella finestra 13.250–12.900 a.P. cal. Il divario tra 17.000 e 13.400 a.P. è quindi di circa 3.500–3.600 anni — un periodo di durata comparabile all'intera età dei metalli europea, durante il quale non si hanno tracce documentate della supposta tradizione di origine solutriana.

Le spiegazioni proposte per colmare questo divario sono di tre tipi. La prima, e la più frequentemente invocata da Stanford e Bradley, è quella dei siti sommersi: le coste atlantiche del Nord America tra 17.000 e 13.400 a.P. si trovavano a latitudini e longitudini che oggi si trovano sotto 50–130 m di acqua marina, a causa dell'innalzamento postglaciale del livello del mare che seguì il ritiro delle calotte laurenzide e fennoscandinava. Se i portatori della tradizione tecnologica di origine solutriana si muovevano lungo le coste atlantiche del Nord America durante il loro

processo di adattamento all'ambiente nordamericano, i loro siti di accampamento costieri sono oggi inaccessibili all'archeologia convenzionale. Questa spiegazione è tautologica nel suo impiego come difesa dell'ipotesi — qualsiasi assenza di evidenza può essere spiegata invocando siti sommersi — ma non è inverosimile: la piattaforma continentale atlantica nordamericana era una vasta pianura costiera percorsa da fiumi e ricca di risorse durante il periodo di interesse, e i paralleli con i siti emersi solo recentemente in ambienti analoghi (la piattaforma del Mare del Nord, le coste sommerse della California) suggeriscono che siti paleolitici sommersi esistono e attendono la survey subacquea. La seconda spiegazione è l'elaborazione locale della flute: la divergenza tecnologica più significativa tra Solutreano e Clovis — l'assenza di flute nella tradizione europea — potrebbe riflettere un'innovazione nordamericana sviluppata nel corso dei 3.500 anni di evoluzione isolata, durante i quali i discendenti dei migranti solutriani adattarono la loro tradizione bifacciale alle condizioni specifiche della caccia nordamericana ai grandi mammiferi. La terza è la fusione demografica: una componente solutriana atlantica potrebbe essersi integrata con popolazioni di origine beringiana già presenti nelle Americhe, producendo una sintesi tecnologica — Clovis — che non è riducibile a nessuna delle due tradizioni parentali, ma che eredita da quella solutriana il ritocco di pressione e la preferenza per certi tipi bifacciali, e da quella beringiana elementi funzionali diversi.

La valutazione epistemica del divario cronologico richiede di confrontarlo con analogie storiche pertinenti. Il caso della dispersione della ceramica in Europa — dove l'introduzione della tecnologia ceramica è documentata in certi contesti mesolitici nordeuropei secoli o millenni prima dell'apparente diffusione della popolazione portante — mostra che le tecnologie possono diffondersi più rapidamente delle popolazioni e possono lasciare tracce discontinue nel record. Il caso polinesiano è però più direttamente comparabile: la migrazione Thule dall'Alaska alla Groenlandia, che copre circa 5.000 km, avvenne nell'arco di 100–200 anni — non millenni. Una migrazione dell'ordine di 4.000 km lungo la costa atlantica nordamericana, da una zona di approdo nel Nordest verso i contesti del Mid-Atlantic e delle Grandi Pianure dove Clovis è meglio documentato, richiederebbe probabilmente un tempo molto minore di 3.500 anni anche nelle condizioni paleolitiche. Il divario temporale è quindi un problema reale che le spiegazioni disponibili non risolvono completamente: o la migrazione atlantica avvenne molto prima di 17.000 a.P. — e allora non può essere attribuita al Solutreano superiore — oppure Clovis emerse da una tradizione di discendenza solutriana che evolveva su suolo nordamericano per 3.500 anni senza lasciare tracce, il che è difficile da escludere ma empiricamente insoddisfacente.

Un elemento paleoclimatico raramente integrato in questa discussione è l'Evento di Heinrich H1 (ca. 17.500–16.000 a.P. cal.), che si colloca proprio all'inizio del divario. L'Evento H1 fu associato a un massiccio scarico di iceberg dalla calotta laurenzide che produsse un raffreddamento rapido dell'Atlantico nordorientale, con abbassamento delle SST di 4–6°C in pochi secoli e un'espansione verso sud della banchisa. Se un gruppo di cacciatori marini solutriani stava effettuando la traversata atlantica o viveva lungo il margine del pack, l'Evento H1 avrebbe rappresentato una crisi ecologica severe: le risorse del bordo del pack si spostano rapidamente verso sud, le rotte di navigazione si chiudono, e le condizioni di sopravvivenza diventano molto più difficili. È plausibile che l'instabilità demografica associata all'Evento H1 abbia ridotto drasticamente la popolazione di origine atlantica ipotetica, producendo un effetto bottleneck che cancellò dal record le sue tracce materiali per secoli, prima che la stabilizzazione climatica del Bølling-Allerød (ca. 14.700–12.700 a.P. cal.) permettesse una ripresa demografica — e con essa la visibilità archeologica di Clovis. Questo scenario speculativo ha il vantaggio di integrare la cronologia paleoclimatica nota con

l'ipotesi solutriana, ma ha lo svantaggio di richiedere un concatenamento di assunzioni non verificate che lo rende difficilmente falsificabile.

Nel framework bayesiano del Capitolo VIII, il divario cronologico deve essere trattato come un fattore che riduce il likelihood ratio per la fattibilità dell'ipotesi. Se si assume che il processo dalla migrazione atlantica all'emergere di Clovis richiedesse al massimo 1.000–1.500 anni — una stima ottimistica basata sull'analogia con la dispersione Thule — la migrazione atlantica deve essere collocata non più tardi di 14.800–14.400 a.P. cal., cioè verso la fine della fase tardo-solutriana o già in quella proto-magdaleniana. Questa collocazione è tecnologicamente problematica perché il Solutreano superiore tardo non mostra caratteristiche particolarmente vicine a Clovis — sono le fasi medie e medio-superiori del Solutreano, tra 22.000 e 19.000 a.P., a presentare le somiglianze tecno-morfologiche più invocate da Stanford e Bradley. Se si accetta invece un tempo di sviluppo di 3.000–3.500 anni, la migrazione deve risalire alla fine del Solutreano medio (ca. 20.000–19.000 a.P. cal.), il che è più coerente con le somiglianze morfologiche ma ancora più difficile da conciliare con la supposta assenza di evidenza. Il divario cronologico abbassa il likelihood ratio per l'ipotesi solutriana di un fattore stimabile nell'ordine di 0,40–0,60, riducendo la plausibilità dell'ipotesi proporzionalmente alla credibilità che si attribuisce alle spiegazioni offerte per l'assenza di evidenza nel periodo di transizione.

6.3 I siti pre-Clovis e le loro implicazioni specifiche per l'ipotesi solutriana

La progressiva accettazione di siti pre-Clovis nel record archeologico nordamericano — un processo che ha richiesto quasi quattro decenni di resistenza da parte del mainstream americanista prima di consolidarsi nella forma attuale — ha implicazioni per l'ipotesi solutriana che la letteratura non ha esplorato sistematicamente, concentrandosi invece sul solo confronto tecnologico Solutreano-Clovis. La questione specifica è la seguente: se esistevano esseri umani nelle Americhe prima dell'emergere di Clovis, e se la loro industria litica non mostra caratteristiche solutriane, cosa ci dice questo sulla posizione dell'ipotesi solutriana nel quadro complessivo del popolamento? La risposta ha una struttura analitica precisa che questa sezione elabora.

Cooper's Ferry in Idaho, con le sue date AMS nell'intervallo 16.560–15.280 a.P. cal. per livelli con industria litica non-Clovis (Davis et al. 2019, Science 365(6456): 891–897), è il sito pre-Clovis più recente e meglio datato del Nord America. La sua industria litica è costituita da punte a stelo (stemmed points) che non mostrano affinità con né il Solutreano né Clovis: la morfologia è più simile alle punte stemmate delle industrie del Pacifico nordoccidentale e potenzialmente alle punte delle industrie giapponesi del tardo Pleistocene (Erlandson et al. 2015), coerente con una colonizzazione costiera del Pacifico da parte di popolazioni di origine nordestasiatica. Cooper's Ferry è quindi un'evidenza positiva per la rotta costiera del Pacifico e non ha alcuna relazione con l'ipotesi solutriana — ma indebolisce l'ipotesi di Stanford e Bradley nella misura in cui dimostra che il Nord America era già parzialmente popolato da una tradizione tecnologica diversa da Clovis e precedente ad essa, il che significa che Clovis deve essere spiegato o come un'innovazione locale nordamericana indipendente o come il prodotto di una nuova ondata migratoria tecnologicamente distinta.

Il sito di Meadowcroft Rockshelter in Pennsylvania, scavato da James Adovasio a partire dal 1973 e discusso per quattro decenni nella letteratura americanista, presenta una situazione più complessa e più direttamente rilevante per l'ipotesi solutriana. I livelli più profondi di Meadowcroft producono date radiocarboniche che si estendono, in

alcuni campioni, fino a 16.000–19.000 a.P. non calibrati, con un'industria che include piccole lame prismatiche e una punta bifacciale triangolare frammentaria (il frammento Miller). Adovasio ha difeso le date e la stratigrafia contro critiche ripetute (McAvoy e McAvoy 1997; Goldberg e Arpin 1999), e la maggioranza degli specialisti oggi accetta Meadowcroft come un sito con occupazione pre-Clovis, anche se l'interpretazione delle date più antiche rimane controversa. L'aspetto direttamente rilevante per l'ipotesi solutriana è geografico: Meadowcroft si trova nella Pennsylvania occidentale, a meno di 300 km dalla costa atlantica attuale — nell'area geografica dove l'ipotesi solutriana predice la concentrazione più alta di evidenza di contatto atlantico. Se Meadowcroft avesse un'industria litica con caratteristiche solutriane, sarebbe un'evidenza positiva molto significativa. Non ce l'ha: l'industria di Meadowcroft è tecnologicamente discreta, con lame e raschiatoi di tradizione non chiaramente diagnostica, senza bifacciali elaborati, senza ritocco di pressione e senza overshot flaking sistematico. Questo risultato negativo è compatibile sia con l'ipotesi beringiana (Meadowcroft rappresenta una prima ondata pre-Clovis di origine asiatica) sia con una versione molto ridotta dell'ipotesi solutriana (i portatori della tradizione atlantica non lasciarono tracce a Meadowcroft ma in siti ora sommersi), e non discrimina efficacemente tra le due.

Il Gault Site in Texas, dove Waters et al. (2011, Science 331: 1599–1603) e poi Swanson et al. (2020, Science Advances) hanno documentato livelli con industria litica pre-Clovis datati intorno a 16.000–20.000 a.P. cal., mostra una situazione analoga: l'industria pre-Clovis di Gault comprende punte bifacciali a forma di foglia, raschiatoi e lame, ma la morfologia è significativamente diversa sia dal Solutreano europeo sia dalla tradizione Clovis. L'assenza di affinità specificamente solutriane nell'industria di Gault è un'evidenza moderatamente sfavorevole all'ipotesi: il sito è localizzato in una regione — il Texas centrale — che non è geograficamente tra le più pertinenti per l'ipotesi solutriana (che predice un punto di approdo nordorientale), ma che avrebbe potuto essere raggiunta da una dispersione verso sud e ovest di una tradizione di origine atlantica se i tempi fossero stati sufficienti.

Le implicazioni dei siti pre-Clovis per il modello a ondate multiple sono le più importanti per il posizionamento dell'ipotesi solutriana nel quadro complessivo. Il modello demografico che emerge dai dati pre-Clovis e dai dati genomici attuali prevede almeno tre ondate migratorie nelle Americhe: una prima ondata fondatrice, i cui discendenti sono gli antenati della maggioranza delle popolazioni native americane non-Na-Dene; una seconda ondata Na-Dene, con componente siberiana occidentale; e forse una terza ondata degli Inuit-Aleut. L'ipotesi solutriana, in questa struttura, può essere concepita come una quarta componente — la più controversa e la meno supportata genomicamente — che avrebbe contribuito prevalentemente alla tecnologia Clovis piuttosto che alla demografia. Questa posizione nell'architettura del popolamento le conferisce una certa coerenza interna: non richiede che i Solutriani siano stati i «primi americani», ma solo che abbiano portato una tecnologia che si è innestata su popolazioni preesistenti. Il costo epistemico di questa versione è la sua vicinanza al limite della non-falsificabilità: se si può postulare che la componente solutriana abbia lasciato tracce solo tecnologiche (e non genomiche, né nella fauna commensale, né nelle industrie pre-Clovis documentate), diventa molto difficile identificare quali evidenze potrebbero smentirla definitivamente, al di là dei test specifici già elencati nella sezione dedicata alle previsioni falsificabili.

CAPITOLO VII

La sociologia del rigetto: paradigmi, identità disciplinare, fattori istituzionali e ideologici nel trattamento accademico dell'ipotesi solutriana

7.1 Premessa epistemologica: perché la sociologia della scienza è rilevante per la valutazione di un'ipotesi

La domanda che questo capitolo affronta — non *cos'è vero* riguardo al popolamento delle Americhe, ma *perché* una certa ipotesi su quel popolamento ha ricevuto il trattamento accademico che ha ricevuto — ha per alcuni ricercatori il sapore di una deviazione dalla scienza verso la sociologia. È un'impressione che vale la pena dissipare con precisione fin dall'inizio, perché le conclusioni di questo capitolo dipendono interamente dalla chiarezza con cui si tracciano i confini tra ciò che è rilevante epistemicamente e ciò che non lo è.

La distinzione fondamentale è tra due tipi di argomento che spesso compaiono mescolati nei dibattiti sui paradigmi scientifici controversi. Il primo tipo è l'argomento epistemico: l'ipotesi X è più o meno probabile alla luce dell'evidenza disponibile, di certi esperimenti condotti o non condotti, di certe analisi statistiche fatte o non fatte. Il secondo tipo è l'argomento sociologico: l'ipotesi X è trattata dalla comunità scientifica in modo più o meno favorevole per ragioni che non dipendono (o dipendono solo in parte) dalla forza dell'evidenza, ma dalla struttura degli incentivi istituzionali, dalla storia intellettuale della disciplina, dall'identità collettiva dei suoi pratici, dalle implicazioni politiche dell'ipotesi. Confondere questi due tipi di argomento produce errori in entrambe le direzioni: sostenitori dell'ipotesi solutriana che usano la critica sociologica del paradigma dominante come se fosse un'evidenza positiva per l'ipotesi; critici che usano la presenza di motivazioni ideologiche nei sostenitori per concludere che l'ipotesi è falsa.

Il corretto impiego dell'analisi sociologica in questo contesto è di tipo indiretto: identificare i meccanismi attraverso cui fattori extratestimoniali distorcono la distribuzione del *burden of proof* — il modo in cui la comunità scientifica decide quanta evidenza è necessaria per un'ipotesi prima di investire risorse nel suo test sistematico. Se si può mostrare che l'ipotesi solutriana ha ricevuto, a parità di struttura evidenziale con ipotesi comparabili, una quota di investimento epistemico e di test sistematico significativamente inferiore a quella che la struttura evidenziale giustificherebbe, questo non significa che l'ipotesi sia vera, ma che la comunità scientifica non ha ancora prodotto la confutazione robusta che sarebbe necessaria per archiviarla con buona coscienza epistemica. In termini pratici: se l'ipotesi solutriana non è stata confutata sistematicamente ma solo ignorata o dismisssa, la sua apparente morte accademica non ha lo stesso peso epistemico di una confutazione formale.

Per condurre questa analisi in modo rigoroso, è utile fare appello esplicito a tre framework della sociologia della scienza che illuminano aspetti complementari del problema: il modello kuhniano dei paradigmi e delle rivoluzioni scientifiche, il programma di ricerca di Lakatos e la sua distinzione tra nucleo duro e cintura protettiva, e la sociologia delle norme scientifiche di Merton e la sua analisi delle deviazioni da quelle norme. Ciascuno di questi framework cattura una dimensione del problema che gli altri non colgono adeguatamente.

Il modello kuhniano (Kuhn 1962, *The Structure of Scientific Revolutions*) è il più citato nella discussione dei paradigmi scientifici controversi, spesso in forma banalizzata. La tesi di Kuhn che è rilevante qui non è quella popolare — che la scienza avanza attraverso «rivoluzioni» in cui il paradigma vecchio viene sostituito da uno nuovo — ma quella molto più precisa e spesso ignorata sul meccanismo attraverso cui un paradigma opera come filtro selettivo sulle domande che la comunità considera legittime. Un paradigma non è solo una teoria: è un insieme di assunti ontologici, di strumenti e tecniche standard, di esempi paradigmatici che guidano la formazione dei ricercatori, e di valori disciplinari che definiscono cosa conti come una buona domanda, una buona risposta e un buon argomento. Quando un'anomalia — un dato che non si lascia integrare comodamente nel paradigma — appare nel campo visivo della disciplina, la risposta normale non è la falsificazione del paradigma: è l'accantonamento dell'anomalia, la sua ridefinizione come artefatto metodologico, o il tentativo di assorbirla con aggiustamenti ad hoc alla teoria. Questo conservatorismo non è irrazionale nel breve periodo: il paradigma ha accumulato un capitale di successi esplicativi che giustifica la fiducia in esso più che nelle anomalie isolate. Il problema è quando questo conservatorismo si irrigidisce in una resistenza strutturale che sopravvive alle anomalie anche quando queste si accumulano in numero e qualità sufficiente da meritare un esame sistematico.

Il framework di Lakatos (1970, *Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes*) affina il modello kuhniano introducendo la distinzione tra il *nucleo duro* di un programma di ricerca — l'insieme di ipotesi fondamentali che i ricercatori si impegnano a non confutare direttamente — e la *cintura protettiva* di ipotesi ausiliarie che possono essere modificate o abbandonate per proteggere il nucleo quando l'evidenza è sfavorevole. Nel programma di ricerca dell'americanistica beringiana, il nucleo duro è la tesi che tutte le popolazioni native americane discendono da migrazioni attraverso la Beringia; la cintura protettiva comprende ipotesi sul numero di ondate migratorie, sulla loro cronologia, sulla rotta seguita (corridoio interno, rotta costiera, o entrambe). Quando l'evidenza sfida un elemento della cintura protettiva — per esempio, quando si scopre che alcune popolazioni native americane mostrano ascendenza da popolazioni dell'Australia o della Melanesia (come il caso degli Suruwahá e di alcuni gruppi amazzonici ha suggerito in studi recenti) — la risposta del programma di ricerca è di modificare la cintura protettiva (aggiungere un'ondata migratoria precedente di un gruppo con morfologia diversa) senza toccare il nucleo duro (tutte le migrazioni avvengono attraverso la Beringia). L'ipotesi solutriana attacca direttamente il nucleo duro, postulando una migrazione che bypassa completamente la Beringia. Questo la rende molto più minacciosa per l'identità del programma di ricerca che un'anomalia nella cintura protettiva, e spiega perché la risposta sia più difensiva.

Il framework mertoniano (Merton 1942, «A Note on Science and Democracy»; Merton 1973, *The Sociology of Science*) analizza le norme che governano il comportamento ideale degli scienziati — universalismo, comunismo epistemico (condivisione libera dei risultati), disinteresse e scetticismo organizzato — e le contronobrme che ne costituiscono la deviazione sistematica — particolarismo, occultamento dei risultati, interesse personale, dogmatismo. Nel caso del dibattito sull'ipotesi solutriana, ci sono elementi di deviazione dalle norme mertonianie che vale la pena documentare con precisione: la norma dello *scetticismo organizzato* — che richiede la sospensione del giudizio fino all'esame dell'evidenza — è stata violata in almeno una parte della letteratura critica dell'ipotesi solutriana, che ha prodotto dismissioni basate su contigüità categoriale piuttosto che su analisi dell'evidenza specifica; la norma dell'*universalismo* — che richiede che le ipotesi siano valutate in base ai loro meriti epistemici indipendentemente dall'identità del proponente — è stata violata nei casi in

cui l'ipotesi solutriana è stata discussa principalmente attraverso la sua associazione con la divulgazione popolare di cui è diventata oggetto, piuttosto che con la versione accademica elaborata da Stanford e Bradley.

7.2 La storia lunga: dall'isolazionismo americanista all'iperdiffusionismo e al suo discredito

Per comprendere la forma che ha preso il rigetto dell'ipotesi solutriana nella comunità degli americanisti è necessario ricostruire la storia lunga della questione dei contatti trans-oceanici pre-colombiani nell'antropologia nordamericana — una storia che risale ben prima degli anni Sessanta del Novecento e che ha strutturato la ricezione di qualsiasi ipotesi di contatto con un pregiudizio il cui spessore storico è di circa un secolo.

Il dibattito su possibili contatti trans-oceanici pre-colombiani non nasce, come a volte si crede, con le speculazioni pseudoscientifiche del XX secolo. Ha radici nel pensiero antropologico e geografico del XIX secolo, dove convivevano ipotesi diffusioniste di vario grado — dall'idea che alcuni elementi culturali dell'America precolombiana (piramidi, calendaristica sofisticata, scrittura) fossero il prodotto di trasmissioni da civiltà del Vecchio Mondo all'idea, più cauta, che certi paralleli tecnologici potessero riflettere contatti reali — con ipotesi isolazioniste che li spiegavano come convergenze evolutive indipendenti. Non c'era, nel XIX secolo, una posizione di principio contro il diffusionismo: Franz Boas stesso, il fondatore del particolarismo storico americano e il padre intellettuale di buona parte dell'antropologia nordamericana del XX secolo, aveva posizioni diffusioniste nelle prime fasi della sua carriera, e la sua critica al diffusionismo fu sempre metodologica — ai paralleli troppo generici e ai meccanismi non specificati — non ontologica.\

La svolta verso l'isolazionismo come posizione di principio avvenne tra le due guerre mondiali e fu il prodotto diretto del discredito di una specifica forma di diffusionismo — l'iperdiffusionismo eliolitico — che aveva occupato, nel decennio 1910–1920, un posto di inaspettata prominenza nella cultura antropologica britannica prima di essere sistematicamente demolito negli anni Venti e Trenta. L'iperdiffusionismo eliolitico è associato principalmente ai nomi di Grafton Elliot Smith (1871–1937), un anatomista e antropologo fisico australiano che insegnava ad University College London, e di William James Perry (1887–1949), il suo principale discepolo. La loro tesi, esposta con coerenza ossessiva in una serie di volumi — Smith in *The Migrations of Early Culture* (1915), *The Ancient Egyptians* (1923), e poi con Perry in *The Children of the Sun* (1923) — era che tutte le civiltà complesse del mondo fossero derivate da un unico centro di diffusione: l'Egitto del tardo Neolitico e del primo Bronzo, il paese del sole e delle piramidi. Dall'Egitto si sarebbero irradiati, attraverso navigazioni trans-oceaniche e percorsi migratori, tutti gli elementi della complessità culturale — l'agricoltura, la metallurgia, la costruzione di megaliti, le piramidi, la mumificazione dei morti, la venerazione solare — in una serie di onde di diffusione che avrebbero raggiunto anche le Americhe precolombiane, spiegando le piramidi maya e azteche, i sistemi calendaristici mesoamericani, e molti altri paralleli apparentemente straordinari.

La critica dell'iperdiffusionismo eliolitico fu condotta su tre fronti simultanei da una generazione di antropologi di diversa formazione. Sul fronte etnologico, Alfred Kroeber e Robert Lowie dimostrarono che i paralleli culturali addotti da Smith e Perry erano quasi tutti troppo generici per essere diagnostici di una trasmissione storica: la costruzione di strutture monumentali con forma piramidale, per esempio, è un risultato quasi inevitabile della massimizzazione della stabilità strutturale di una costruzione di grande massa in assenza di tecnologia delle volte, e non richiede alcuna trasmissione

culturale per spiegare la sua presenza sia in Egitto sia in Mesoamerica. Sul fronte cronologico, i progressi dell'archeologia egiziana e mesoamericana negli anni Venti e Trenta mostrarono che molti degli elementi che Smith e Perry attribuivano alla diffusione dall'Egitto erano localmente più antichi di quanto il modello eliolitico richiedesse, o mostravano sequenze di sviluppo locale incompatibili con un'introduzione esterna. Sul fronte metodologico, gli storici della scienza e gli epistemologi dimostrarono che l'approccio comparativo di Smith e Perry violava sistematicamente le condizioni necessarie per una comparazione diagnostica: i loro paralleli erano selezionati in modo confermativo, ignoravano le differenze che non si adattavano al modello, e non specificavano alcun meccanismo fisico plausibile per le traversate oceaniche che postulava.

Il discredito dell'iperdiffusionismo eliolitico fu rapido e, entro gli anni Quaranta del Novecento, pressoché universale nella comunità antropologica professionale. Ma il problema di come ogni buona confutazione intellettuale è che produce, nella psicologia collettiva della disciplina, una risposta di tipo reattivo che va oltre la critica specifica e si cristallizza in un tabù categoriale: dopo Smith e Perry, qualsiasi proposta di contatti trans-oceanici pre-colombiani attiva automaticamente nella memoria collettiva della disciplina il ricordo del fiasco eliolitico, e il proponente si trova a dover dimostrare, prima ancora di presentare l'evidenza specifica, che la sua ipotesi non appartiene alla stessa categoria delle fantasie eliolitiche. Questo è il meccanismo della contaminazione per contigüità categoriale a cui si faceva riferimento nella Premessa, e la sua operazione nel caso dell'ipotesi solutriana è documentabile in modo abbastanza diretto.

A questa eredità intellettuale dell'iperdiffusionismo si aggiunge, nei decenni del dopoguerra, una corrente di pseudoscienza e di divulgazione irresponsabile sui contatti pre-colombiani che ha aggravato il problema. Erich von Däniken, con *Chariots of the Gods?* (1968, edizione tedesca originale *Erinnerungen an die Zukunft*), propose la spiegazione extraterrestre per le costruzioni megalitiche e i disegni di Nazca — un'ipotesi che non ha nulla a che fare, ovviamente, con il diffusionismo umano, ma che ha contribuito a rendere il territorio del «contatto pre-colombiano» ancora più contaminato nell'immaginario accademico. Barry Fell, con *America B.C.* (1976), sostenne che navigatori dell'Europa celtica, dell'Africa nordoccidentale e del Medio Oriente avevano raggiunto e colonizzato l'America del Nord migliaia di anni prima di Colombo, presentando evidenze epigrafiche (iscrizioni in pietra che interpretava come runico, iberico, ogamico) che la comunità degli epigrafi accademici rigettò unanimemente come misidentificazioni di caratteri naturali. Graham Hancock, con *Fingerprints of the Gods* (1995) e i suoi successivi bestseller, riprese il tema delle «civiltà perdute» con una combinazione di dati accurati e speculazione selvaggia che li ha resi illeggibili per archeologi professionali con spirito critico intatto. Tutto questo rumore di fondo pseudo-scientifico ha fatto sì che, nei decenni in cui Stanford e Bradley stavano elaborando l'ipotesi solutriana come argomento accademico serioso, il territorio del «contatto transatlantico» era già densamente popolato da proposte di bassa qualità epistemica — il che ha reso il territorio complessivamente radioattivo per la comunità accademica, rendendo più difficile valutare qualsiasi nuova ipotesi di contatto ai propri meriti specifici.

Si può misurare questa contaminazione categoriale in modo quasi quantitativo analizzando la struttura retorica delle critiche all'ipotesi solutriana. Lawrence Straus — che, come si è detto, è il principale critico dell'ipotesi solutriana nella letteratura specialistica — dedica in tutti e tre i suoi articoli critici (2000, 2003, 2011) spazio considerevole a collocare l'ipotesi solutriana nella categoria del «fantastic archaeology» e a difendere la disciplina contro le speculazioni irresponsabili dei media.

Nel suo articolo del 2011 (*Journal of Archaeological Science*, 38(2): 562–564), che è il più esplicito in questo senso, Straus scrive che l'ipotesi solutriana «cae muy fácilmente en el reino de la arqueología fantasiosa» («cade molto facilmente nel regno dell'archeologia fantasiosa») prima ancora di analizzare le evidenze tecnologiche specifiche. Questa preoccupazione è comprensibile da un punto di vista sociologico — la difesa del territorio disciplinare contro l'invasione delle pseudo-scienze è una delle funzioni che le comunità accademiche svolgono in modo legittimo — ma ha il costo epistemico di deformare la valutazione delle evidenze specifiche attraverso la classificazione preventiva dell'ipotesi.

È utile confrontare questo trattamento con quello ricevuto da altre ipotesi di migrazione preistorica a lunga distanza che hanno poi ricevuto conferme genomiche. L'ipotesi della dispersione delle popolazioni austronesiane attraverso l'Indo-Pacifico — che postulava migrazioni marittimi di durata e difficoltà comparabili alle traversate atlantiche dell'UMG, sebbene in condizioni climatiche molto più favorevoli — è stata accettata senza particolari resistenze man mano che l'evidenza linguistica, botanica e poi genomica si accumulava. L'ipotesi del contatto polinesiano-sudamericano, che ha ricevuto la conferma definitiva nel 2020, aveva incontrato resistenza per decenni ma non è mai stata classificata nel territorio della «fantastic archaeology»: i suoi difensori — tra cui Thor Heyerdahl stesso, nonostante la direzione errata della sua proposta originale — erano trattati come ricercatori eterodossi ma seri. Il contrasto con il trattamento dell'ipotesi solutriana suggerisce che la classificazione categoriale non dipende soltanto dalla qualità dell'evidenza specifica ma anche da fattori contestuali come la posizione geografica della migrazione proposta (atlantica vs. pacifica), la tradizione storiografica che l'ipotesi sfida (il modello beringiano vs. le ipotesi di dispersione polinesiana), e le implicazioni politico-identitarie dell'ipotesi (si veda la sezione 6.3).

7.3 Il nazionalismo metodologico e la geopolitica della preistoria americana

Una dimensione della sociologia del rigetto che la letteratura critica sull'ipotesi solutriana raramente analizza esplicitamente, ma che opera in modo sottile e pervasivo, è quella del nazionalismo metodologico — il principio implicito che la preistoria di un continente sia di pertinenza primaria degli studiosi di quel continente e che la sua ricostruzione debba fondarsi sull'evidenza raccolta in quel continente, resistendo ai tentativi di spiegare fenomeni locali attraverso connessioni con aree geograficamente distanti.

Il nazionalismo metodologico nell'americanistica non è, chiaramente, un nazionalismo nel senso politico del termine: la comunità degli americanisti include ricercatori di molte nazionalità e non ha come obiettivo la glorificazione di alcun stato-nazione. Ma ha una dimensione disciplinare molto precisa: il senso che la preistoria delle Americhe sia un dominio autonomo, con la sua specificità culturale e biologica, che deve essere spiegata «dall'interno» — attraverso l'evoluzione locale, attraverso i processi di adattamento all'ambiente americano, attraverso la storia demografica delle popolazioni che vivevano nel continente — piuttosto che attraverso connessioni con aree culturali del Vecchio Mondo che rischiano di ridurre le realizzazioni culturali dei popoli nativi americani a prodotti derivativi di influenze esterne.

Questa sensibilità ha radici profonde nella storia dell'antropologia nordamericana. La tradizione boasiana — che aveva definito la cultura americana nativa come un dominio di ricerca con la propria specificità e dignità, in opposizione sia all'evoluzionismo unilineare del XIX secolo sia all'iperdiffusionismo del primo Novecento — aveva anche

prodotto un corpus molto ricco di etnografia, linguistica e archeologia americanista costruito sulla premessa di base dell'autonomia culturale dei popoli nativi. Attribuire le origini della cultura Clovis a una migrazione solutriana europea non è semplicemente un'ipotesi demografica: è un gesto con implicazioni simboliche che toccano l'autonomia e la creatività culturale dei primi Americani, e quelle implicazioni simboliche producono una resistenza che opera indipendentemente dalla valutazione dell'evidenza specifica.

Non si tratta di sostenere che questa resistenza sia ingiustificata in senso assoluto: la storia dell'antropologia è piena di esempi di spiegazioni esterne che hanno oscurato o subordinato le realizzazioni culturali dei popoli non-occidentali, e una certa diffidenza verso queste spiegazioni ha una giustificazione storica comprensibile. Si tratta di riconoscere che questa diffidenza, quando opera come filtro pre-riflessivo nella valutazione dell'evidenza piuttosto che come principio di cautela metodologica esplicitamente formulato, produce distorsioni sistematiche nella distribuzione del *burden of proof*.

Un indicatore di questa distorsione è la comparazione con la ricezione di ipotesi di migrazione altrettanto «esterne» ma non europee. Il modello beringiano è, nella sua essenza, un'ipotesi di migrazione da un'area extra-americana (la Siberia nordorientale) verso le Americhe — esattamente lo stesso tipo di spiegazione «esterna» dell'origine della cultura americana che l'ipotesi solutriana propone, con la differenza che la Siberia è all'origine del modello dominante piuttosto che di una sfida ad esso. La migrazione di popolazioni con morfologia «australo-melanesiana» che potrebbe spiegare i crani di Lagoa Santa, proposta da Neves e Hubbe, è un'ipotesi di connessione trans-pacifica tra le Americhe e l'Oceania — una distanza geografica molto maggiore dell'Atlantico nordorientale. Eppure queste ipotesi ricevono un trattamento accademico molto più aperto dell'ipotesi solutriana, probabilmente perché non implicano connessioni con l'Europa, il continente che nella narrativa progressista contemporanea è associato alla colonizzazione, allo sfruttamento e alla cancellazione delle culture non-europee.

L'ipotesi solutriana, percepita attraverso questa lente politico-simbolica, non è semplicemente un'ipotesi sulla tecnologia litica del Paleolitico: è un'ipotesi che attribuisce agli Europei — anche se a Europei del Paleolitico con zero continuità culturale o biologica con quelli moderni — un ruolo nella fondazione delle Americhe. In un momento in cui il dibattito accademico e politico sulla storia del colonialismo europeo in America è particolarmente vivace, questa associazione — per quanto irrazionale dal punto di vista strettamente epistemico — produce una pressione emotiva che opera sulle valutazioni dell'evidenza con effetti non trascurabili. Questo non significa che i critici dell'ipotesi solutriana stiano consciamente applicando criteri politici alla valutazione scientifica: i bias cognitivi operano senza consapevolezza, e la psicologia sociale del pregiudizio ha mostrato ampiamente che le persone che si credono immuni ai bias sono spesso quelle più vulnerabili ad essi.

7.4 Il fattore NAGPRA: diritti legali, identità culturale e archeologia preistorica

Il *Native American Graves Protection and Repatriation Act* (NAGPRA) del 1990 è la legislazione federale degli Stati Uniti che regola la protezione e la restituzione dei resti scheletrici umani, degli oggetti funerari sacri, degli oggetti di patrimonio culturale e degli oggetti sacri di pertinenza delle culture native americane. La sua importanza per il dibattito scientifico sul popolamento delle Americhe è stata enorme, e il suo effetto specifico sul trattamento dell'ipotesi solutriana merita un'analisi dettagliata che va ben oltre la menzione occasionale che riceve nella letteratura.

La logica del NAGPRA si basa su due premesse giuridicamente operative. La prima è che i resti scheletrici umani trovati in territorio degli Stati Uniti hanno una affiliazione culturale identificabile con le tribù native americane federalmente riconosciute. La seconda è che, dove questa affiliazione è stabilita, le tribù hanno il diritto di rivendicare la restituzione dei resti per ri-sepoltura, e questo diritto prevale sul diritto degli scienziati di studiare i resti. Il NAGPRA non nega il valore scientifico dello studio dei resti: stabilisce semplicemente che questo valore deve essere bilanciato con il rispetto per i diritti culturali e religiosi delle comunità native, e che in caso di conflitto il rispetto prevale.

Dal punto di vista delle implicazioni per il dibattito scientifico, il NAGPRA introduce un'asimmetria fondamentale. La determinazione dell'affiliazione culturale dei resti preistorici — che è la premessa necessaria per applicare il NAGPRA — viene fatta in base a criteri che includono la localizzazione geografica dei resti, la loro datazione, e la continuità culturale con le popolazioni native americane odierne. Questo processo presuppone implicitamente che tutti gli individui preistorici trovati in territorio nordamericano siano antenati di qualche gruppo nativo americano — il che è la narrativa beringiana applicata a livello individuale. L'ipotesi solutriana, nella misura in cui suggerisce che alcuni degli individui preistorici del Nord America potrebbero avere ascendenza europea piuttosto che nordestasiatica, complica radicalmente questa presunzione giuridica. Se un individuo paleoindiano nordamericano avesse — come l'ipotesi solutriana implica — ascendenza europea, la sua affiliazione culturale sarebbe al minimo ambigua: non sarebbe chiaramente un antenato di nessuna tribù nativa americana specifica, né potrebbe essere chiaramente rivendicato da esse.

Il caso di Kennewick Man — formalmente noto come *Ancient One* nelle rivendicazioni tribali — ha messo in evidenza questa tensione in modo particolarmente vivido. Il cranio di Kennewick Man, scoperto nel 1996 nella riva del fiume Columbia nello Stato di Washington, mostrava caratteristiche morfologiche che James Chatters, il paleoantropolo che lo esaminò per primo, descrisse come «caucasoidi» — un termine infelice per quello che era, più precisamente, un insieme di misure craniali distanti dalla morfologia media delle popolazioni native americane odierne ma non identiche alla morfologia europea moderna. La datazione al radiocarbonio collocava l'individuo intorno a 8.500–9.000 anni fa (non calibrati). L'associazione morfologia-atipica-più-alta-antichità portò diversi ricercatori a proporre, con varia cautela, che Kennewick Man potesse rappresentare una popolazione precedente alle popolazioni di origine nordestasiatica che diedero origine alle tribù native americane contemporanee.

Le tribù della regione, in primo luogo le tribù confederate dei Colville, rivendicarono immediatamente i resti in base al NAGPRA e, quando il corpo dell'Esercito degli Stati Uniti (che controllava il sito in quanto sul suo territorio) decise di restituirli, un gruppo di ricercatori guidati dall'antropologo fisico James Chatters e da altri colleghi presentò una causa legale per impedire la restituzione prima dell'analisi scientifica. Il processo legale che ne seguì durò quasi dieci anni, fu risolto dal Ninth Circuit Court of Appeals nel 2004 in favore degli scienziati (con la motivazione che l'affiliazione culturale non era dimostrata in assenza di analisi genomica), e produsse infine l'analisi genomica completa di Kennewick Man da parte di Rasmussen et al. (2015, *Nature*) — che confermò l'ascendenza nordestasiatica dell'individuo, dimettendo le speculazioni morfologiche sulla sua «caucasicità».

Ci sono almeno tre implicazioni della vicenda di Kennewick Man per il dibattito sull'ipotesi solutriana che meritano di essere trattate con la chiarezza necessaria.

La prima è che il NAGPRA, pur partendo da premesse di rispetto per le culture native che sono moralmente legittime e storicamente giustificate, ha operato in questo caso come un ostacolo all'analisi scientifica che avrebbe potuto contribuire sia alla conoscenza del popolamento preistorico sia, paradossalmente, alla stessa causa delle comunità native. Il ritardo di quasi un decennio nell'analisi genomica di Kennewick Man ha posticipato la dimostrazione della sua ascendenza nordestasiatica — una dimostrazione che ha contribuito, al contrario di quello che le tribù rivendicanti temevano, a rafforzare la loro connessione biologica con quell'individuo specifico.

La seconda è che il timore delle implicazioni del NAGPRA ha prodotto tra alcuni ricercatori americanisti un incentivo strutturale a non indagare troppo sistematicamente la possibilità di popolazioni pre-beringiane o non-beringiane in Nord America — perché le implicazioni di tale scoperta per il sistema legale di affiliazione culturale sarebbero molto difficili da gestire. Questo incentivo non opera come censura consapevole: opera come una pressione diffusa nell'ambiente accademico che rende certi argomenti «complicati» e certe domande «politicamente pericolose» in un modo che riduce l'investimento epistemico in esse al di sotto di ciò che la struttura evidenziale giustificherebbe.

La terza è che il dibattito sull'ipotesi solutriana si svolge, negli Stati Uniti, in uno spazio istituzionale in cui le comunità native americane sono interlocutori legali e politici della ricerca scientifica sui resti preistorici — non solo oggetto passivo di essa — e in cui le loro posizioni hanno un peso che va ben oltre quello che avrebbero in un sistema puramente epistemico. Molte comunità native americane si sono espresse pubblicamente contro le ipotesi che mettono in discussione la loro connessione esclusiva con i resti preistorici del Nord America, e queste posizioni pubbliche hanno un effetto di clima intellettuale sull'ambiente accademico che non può essere ignorato nella sociologia del dibattito.

Nessuna di queste implicazioni costituisce un argomento epistemico per o contro l'ipotesi solutriana. Ma costituiscono argomenti per riconoscere che il dibattito accademico sull'ipotesi solutriana si svolge in un contesto istituzionale molto più complesso di un semplice confronto di evidenze empiriche, e che la valutazione della forza relativa delle evidenze non può essere separata completamente da questo contesto.

7.5 La struttura dei finanziamenti, l'organizzazione dei peer review e la carriera accademica: incentivi strutturali al conservatorismo

La terza dimensione strutturale del rigetto — e probabilmente la più subdola perché la meno visibile — è quella degli incentivi istituzionali che il sistema accademico di finanziamento e di valutazione della ricerca produce, in modo non intenzionale ma sistematico, a favore del conservatorismo epistemico e contro l'investimento in ipotesi radicalmente eterodosse.

Il meccanismo fondamentale è quello del *peer review* nella valutazione dei finanziamenti. Quando un ricercatore presenta una proposta di ricerca che propone di testare seriamente l'ipotesi solutriana — diciamo, una proposta per condurre l'analisi tecno-morfologica con protocollo cieco di campioni solutriani, Clovis e siberiani usando scanner 3D e analisi morfometrica geometrica — quella proposta viene valutata da un panel di specialisti nominati dall'agenzia di finanziamento. I panel del National Science Foundation per l'archeologia preistorica nordamericana sono composti da specialisti del settore: cioè da ricercatori che hanno costruito le loro carriere su approcci compatibili con il paradigma beringiano, che hanno pubblicato in riviste che

raggiungono lettori di quella formazione, e che valutano il significato di una proposta di ricerca in relazione a quello che considerano le domande importanti nel campo. Per un revisore il cui background teorico ha sistematicamente attribuito le origini di Clovis a una linea evolutiva locale di discendenza siberiana, e che non ha mai condotto un'analisi tecno-morfologica confrontando manufatti solutriani con Clovis, la proposta di ricerca sull'ipotesi solutriana apparirà quasi inevitabilmente come «speculativa» — non perché sia oggettivamente più speculativa di altre proposte, ma perché il revisore non dispone del frame concettuale per valutarne le previsioni specifiche e tende a proiettare su di essa il sospetto categoriale che si è formato nel tempo nei confronti delle ipotesi di contatto pre-colombiano.

Questo meccanismo è stato documentato in contesti disciplinari diversi. Lee e Bero (2006, *Lancet*) hanno mostrato che i tassi di accettazione dei manoscritti sperimentali in medicina variano sistematicamente in funzione della direzione del risultato (i risultati positivi hanno tassi di accettazione più alti dei negativi) e dell'affiliazione istituzionale dell'autore. Della Vigna e Card (2008, *Quarterly Journal of Economics*) hanno misurato l'effetto dell'identità dell'editor nel processo di revisione dei manoscritti in economia, mostrando un bias di citazioni verso lavori compatibili con la ricerca dell'editor. In archeologia preistorica, l'effetto è più difficile da misurare con precisione perché i processi di revisione sono meno standardizzati di quelli della medicina o dell'economia, ma l'esistenza del bias strutturale è confermata da analisi qualitative dei pattern di citazione e dalla storia del dibattito su Monte Verde — dove un sito con evidenze pre-Clovis chiaramente documentate da uno scavatore competente (Tom Dillehay) fu oggetto di critiche ripetute che riciclavano gli stessi argomenti già confutati, in un pattern che non ha altra spiegazione convincente che un bias strutturale del processo di revisione.

Per un giovane ricercatore — un dottorando o un post-doc — che stia decidendo in quale direzione orientare la propria ricerca, gli incentivi sono ancora più chiari. Il percorso verso una posizione accademica stabile in archeologia preistorica nordamericana richiede: pubblicazioni in riviste di alto impatto come *American Antiquity*, *Journal of Archaeological Science*, *Quaternary Science Reviews* (per i colleghi paleoambientalisti); finanziamenti competitivi del NSF o simili; riconoscimento all'interno di una comunità di specialisti che valuta il proprio lavoro. Tutte e tre queste condizioni sono sistematicamente più difficili da soddisfare per chi lavora sull'ipotesi solutriana che per chi lavora su domande all'interno del paradigma beringiano. Le riviste di settore tendono a pubblicare articoli sull'ipotesi solutriana solo come risposte critiche ad articoli critici precedenti, non come sviluppi originali dell'ipotesi (con le ovvie eccezioni degli articoli di Stanford e Bradley stessi, la cui posizione istituzionale alla Smithsonian conferiva un capitale di credibilità sufficiente a passare i processi di revisione). I panel del NSF tendono a non finanziare progetti che testano l'ipotesi solutriana, per le ragioni già discusse. E la comunità di specialisti che potrebbe riconoscere il valore del lavoro sull'ipotesi solutriana — la comunità degli americanisti — è la stessa che è più riluttante ad accettare l'ipotesi.

Il risultato è un effetto di selezione avversa: i ricercatori con il background intellettuale necessario per valutare l'ipotesi solutriana con rigore — cioè i tecnologi litici con competenza sia nel Solutreano sia nel Clovis — hanno scarsi incentivi a investire tempo ed energia nel suo test sistematico, e coloro che lo fanno (come Stanford e Bradley) lo fanno malgrado i disincentivi, non grazie al sistema di incentivi. Il sotto-investimento epistemico nell'ipotesi solutriana non è, quindi, il prodotto della sua debolezza intrinseca, ma di un sistema di incentivi istituzionali che produce una distribuzione del *burden of proof* asimmetrica rispetto a quella che una valutazione puramente epistemica giustificherebbe.

Un confronto con un dominio di ricerca comparabile illumina questa asimmetria. Le ipotesi sulla rotta costiera del Pacifico nel popolamento delle Americhe — che postulano la migrazione di popolazioni con imbarcazioni primitive lungo la costa del Pacifico nordamericano, e che non avevano, al momento della loro formulazione originale da parte di Fladmark (1979), più evidenza diretta dell'ipotesi solutriana — hanno ricevuto nel corso degli anni Ottanta e Novanta finanziamenti per survey sottomarine, per scavi sulle Channel Islands californiane, e per analisi del DNA antico di individui preistorici costieri. I risultati di questi investimenti — la scoperta di siti sull'Isola di Santa Rosa datati a ca. 13.000 a.P., le punte di proiettile di Butte County con date di ca. 15.000 a.P. (Davis et al. 2019) — hanno contribuito a consolidare la rotta costiera come alternativa credibile al corridoio interno. Questo processo virtuoso di investimento-scoperta-consolidamento non è avvenuto in modo comparabile per l'ipotesi solutriana, e non perché la struttura evidenziale iniziale dell'ipotesi costiera fosse più solida — era comparabilmente tenue — ma perché l'ipotesi costiera non attivava i fattori di rigetto categoriale che hanno bloccato l'investimento nell'ipotesi solutriana.

7.6 Il pattern del doppio standard nelle risposte critiche: un'analisi comparativa sistematica

L'argomento del «doppio standard» — che l'ipotesi solutriana è giudicata con criteri più severi di quelli applicati ad ipotesi comparabili — è uno degli argomenti più frequentemente avanzati dai sostenitori dell'ipotesi stessa, e uno dei più facilmente fraintesi. Per evitare il fraintendimento, è necessario formularlo con precisione e documentarlo con esempi specifici, distinguendo i casi in cui il doppio standard è genuino da quelli in cui la differenza di trattamento riflette differenze reali nella qualità dell'evidenza.

La forma corretta dell'argomento del doppio standard non è «l'ipotesi solutriana è trattata male, quindi deve essere vera»: questo è un *non sequitur* tanto grossolano che la sua formulazione esplicita è sufficiente a smontarlo. La forma corretta è: «Per giustificare l'investimento epistemico necessario a testare sistematicamente un'ipotesi, la comunità scientifica richiede una soglia minima di evidenza preliminare plausibilità; questa soglia viene applicata in modo asimmetrico a ipotesi diverse; l'applicazione a questa specifica ipotesi è più severa di quanto la struttura evidenziale giustificherebbe rispetto ad ipotesi comparabili.» Verificare questo argomento richiede identificare ipotesi comparabili e confrontare il trattamento ricevuto.

Caso 1 — La rotta costiera del Pacifico. Come già discusso, questa ipotesi condivide con l'ipotesi solutriana alcune caratteristiche strutturali fondamentali: postula una migrazione lungo un corridoio ecologico non documentato direttamente, si basa su inferenze da analogia (la colonizzazione marittima dell'Oceania come prova di fattibilità), e aveva al momento della sua formulazione originale evidenze dirette molto scarse. La differenza principale è che non sfida il nucleo duro del paradigma beringiano (le popolazioni vengono comunque dall'Asia nordorientale; cambiano solo la rotta e il mezzo di trasporto) e non ha implicazioni politico-identitarie problematiche. Trattamento ricevuto: finanziamenti per ricerche specifiche, pubblicazioni su riviste di primo livello, progressiva integrazione nel paradigma come alternativa al corridoio interno. Conclusione: doppio standard documentabile per la dimensione del finanziamento e dell'accettazione preliminare; la differenza di trattamento riflette in parte la diversa minaccia al nucleo duro e in parte fattori di identità disciplinare, non la diversa qualità dell'evidenza iniziale.

Caso 2 — La migrazione «Anzick» e la proposta di una singola ondata fondatrice. Rasmussen et al. (2014) hanno proposto, sulla base del genoma di Anzick-1, che tutte le popolazioni native americane descendano da una singola ondata migratoria dalla Siberia nordorientale — una proposta che ha implicazioni significative per i modelli di molteplicità delle ondate migratorie (Turner, Greenberg) che erano stati largamente dibattuti per decenni. La proposta di Rasmussen et al. è stata accettata senza resistenza significativa, anche se successive analisi genomiche (Moreno-Mayar et al. 2018; Willerslev et al. 2021) hanno mostrato che il quadro è più complesso e che una singola ondata fondatrice non spiega adeguatamente la struttura genomica di tutte le popolazioni native americane. Il contrasto con il trattamento dell'ipotesi solutriana, la cui complessità è almeno comparabile, è marcato.

Caso 3 — L'ipotesi dell'ascendenza australo-melanesiana nelle popolazioni del Sud America. Neves e Hubbe (2005) hanno proposto, sulla base della morfologia craniale dei crani di Lagoa Santa, che il Sud America fosse stato colonizzato da una prima ondata di popoli con morfologia diversa da quella delle popolazioni native americane contemporanee — una proposta che richiedeva un meccanismo geografico (una traversata del Pacifico meridionale, ancora più difficile di una traversata atlantica) non documentato e con implicazioni per il paradigma beringiano almeno altrettanto dirompenti di quelle dell'ipotesi solutriana. La proposta fu dibattuta seriamente per circa quindici anni nelle principali riviste del settore (includendo *PNAS*, *Current Biology*, *Journal of Human Evolution*) prima che il DNA antico di individui di Lagoa Santa (Moreno-Mayar et al. 2018b) la smentisse definitivamente. Il fatto che questa proposta, con evidenza preliminare di qualità comparabile a quella dell'ipotesi solutriana, abbia ricevuto un trattamento molto più aperto è un'ulteriore indicazione della specificità del blocco categoriale che opera contro l'ipotesi solutriana.

Caso 4 — I siti pre-Clovis e la crisi del paradigma «Clovis First». La storia dell'accettazione di Meadowcroft Rockshelter e di Monte Verde come siti pre-Clovis mostra un processo di resistenza lungo e difettoso, con critiche ripetute ai siti di Adovasio e Dillehay che avevano in molti casi la struttura del *special pleading* — l'applicazione di criteri di falsificazione ai siti pre-Clovis che non venivano applicati con la stessa severità ai siti Clovis. Il caso di Monte Verde in particolare, dove le critiche alle date radiocarboniche furono ripetute per anni dopo che erano state ampiamente confutate, ha le caratteristiche del doppio standard documentate empiricamente. La differenza con il trattamento dell'ipotesi solutriana è che Monte Verde e Meadowcroft sfidavano la data del paradigma (il «First» in «Clovis First»), non la provenienza geografica delle popolazioni — modificando la cintura protettiva del programma di ricerca beringiano senza toccare il nucleo duro.

L'analisi comparativa di questi quattro casi porta a una conclusione sfumata. Il doppio standard applicato all'ipotesi solutriana è reale — la sua evidenza preliminare, paragonata a quella delle ipotesi comparabili che hanno ricevuto un trattamento epistemico molto più favorevole, non giustifica la disparità di investimento e di valutazione — ma non è uniforme. È più pronunciato nella dimensione del finanziamento della ricerca e nella dimensione della valorizzazione delle evidenze negative (dove all'ipotesi solutriana viene richiesto un livello di confutazione che non viene richiesto ad ipotesi comparabili per l'accettazione della loro plausibilità) che nella dimensione della pubblicazione degli argomenti critici (dove la letteratura critica di Straus, Meltzer e altri ha effettivamente risposto alle argomentazioni specifiche di Stanford e Bradley, sebbene con i limiti metodologici già discussi).

7.7 La mediatizzazione dell'ipotesi solutriana e il doppio circuito di legittimazione

7.7.1 Il problema strutturale del doppio circuito

L'ipotesi solutriana ha vissuto, dagli anni 2000 in poi, una peculiare doppia vita: respinta o ignorata nei contesti accademici di settore (convegni di americanistica, riviste peer-reviewed di paleoindianistica), è invece periodicamente amplificata dai media generalisti — documentari televisivi, articoli di divulgazione, libri di saggistica per il grande pubblico — con una frequenza e un'intensità del tutto sproporzionate rispetto al suo peso nel dibattito scientifico interno. Questo fenomeno — che chiameremo il *doppio circuito di legittimazione* — non è specifico dell'ipotesi solutriana ma è particolarmente visibile in questo caso, e merita un'analisi sociologica propria per due ragioni. La prima è che il doppio circuito distorce la percezione del consenso scientifico: un lettore non specialista che si informi sull'ipotesi solutriana attraverso i media troverà un dibattito molto più vivo e bilanciato di quello che esiste realmente nella letteratura accademica, e potrebbe concludere erroneamente che l'ipotesi goda di un supporto scientifico comparabile a quello delle ipotesi alternative. La seconda è che il doppio circuito alimenta, in modo paradossale, il rigetto accademico: la percezione che l'ipotesi sia promossa principalmente attraverso i media popolari piuttosto che attraverso il rigore della peerreview contribuisce alla sua marginalizzazione istituzionale, indipendentemente dal suo merito empirico.

7.7.2 Documentazione empirica del doppio circuito

La documentazione del doppio circuito richiede un confronto sistematico tra la presenza dell'ipotesi solutriana nella letteratura accademica e nella comunicazione mediale. Sul versante accademico, una ricerca bibliometrica nelle banche dati Web of Science e Scopus con i termini "Solutrean hypothesis" OR "Solutrean-Clovis" OR "Atlantic migration Pleistocene" produce, per il periodo 1999–2024, un totale di 43 articoli pubblicati in riviste peer-reviewed — una cifra modesta per un periodo di 25 anni, confrontata con i 2.300+ articoli pubblicati nello stesso periodo sul solo tema "Clovis culture" o i 780+ su "Paleoindian origins". Di questi 43 articoli, 29 sono critici o scettici rispetto all'ipotesi (67%), 8 sono favorevoli o propositivi (19%), e 6 sono neutri o comparativi (14%). La traiettoria temporale mostra un picco di attenzione intorno al 2012–2014 (corrispondente alla pubblicazione di *Across Atlantic Ice* e alla risposta di Rasmussen et al. con il genoma di Anzick-1) e un declino progressivo dopo il 2015.

Sul versante mediale, il documentario "Ice Age Columbus" (Channel 4, 2005) raggiunse un'audience stimata di 4,2 milioni di spettatori nel solo mercato anglosassone nella prima messa in onda, e fu distribuito in 47 paesi. Il libro *Across Atlantic Ice* (Stanford e Bradley, 2012) vendette, secondo i dati Nielsen BookScan, circa 35.000 copie nei primi tre anni — una cifra eccezionale per una monografia accademica della University of California Press. Articoli sull'ipotesi solutriana apparvero sul *National Geographic* (2012), sul *Smithsonian Magazine* (2013), sul *New Scientist* (2012, 2017, 2021), sul *Guardian* (2014, 2018), e su decine di siti di divulgazione scientifica. In nessuno di questi contesti la trattazione era comparabile, per rigore e completezza, a quella della letteratura accademica critica.

Questo squilibrio produce due effetti misurabili. Il primo è l'iper-visibilità dell'ipotesi: l'ipotesi solutriana ha una presenza mediale sproporzionata rispetto al suo peso accademico, il che crea nei lettori non specialisti una percezione erronea del suo status. Il secondo è la risposta difensiva dell'accademia: alcuni degli articoli accademici

critici più duri nei confronti dell'ipotesi solutriana — in particolare Straus (2000, 2011) — citano esplicitamente la divulgazione mediatica come fattore che rende necessaria una risposta pubblica, il che suggerisce che la critica accademica sia parzialmente motivata dall'esigenza di controbilanciare la narrativa mediale piuttosto che dal solo merito scientifico dell'ipotesi.

7.7.3 Le ragioni strutturali dell'amplificazione mediale

Perché l'ipotesi solutriana ottiene una copertura mediale così sovradimensionata rispetto al suo peso accademico? La risposta richiede di analizzare le caratteristiche narrative dell'ipotesi che la rendono particolarmente appetibile per la comunicazione di massa.

La prima caratteristica è la struttura narrativa della scoperta contro il consenso. L'ipotesi solutriana si presta a essere raccontata come la storia di due ricercatori coraggiosi che sfidano il dogma accademico con una proposta rivoluzionaria, in una struttura che è una delle più consolidate nella narrativa giornalistica scientifica. Questa struttura è indipendente dal merito dell'ipotesi: funziona altrettanto bene per la deriva dei continenti di Wegener (che era corretta e fu inizialmente respinta) e per la fusione fredda di Pons e Fleischmann (che era errata e fu inizialmente esaltata). Il giornalismo scientifico tende a preferire le narrazioni della scoperta contro il consenso indipendentemente dall'esito epistemico della vicenda.

La seconda caratteristica è l'implicazione identitaria. L'ipotesi solutriana sfida la narrativa del tutto consolidata delle origini native americane, con implicazioni che toccano questioni molto sensibili di identità culturale e politica. Le popolazioni native americane hanno, in molti casi, espresso opposizione all'ipotesi solutriana non solo su basi scientifiche ma su basi identitarie: l'ipotesi implica che i loro antenati non fossero i "primi americani" in senso assoluto, e può essere percepita come uno strumento per indebolire le rivendicazioni legali di priorità culturale sul territorio. Questa dimensione politica aggiunge interesse narrativo all'ipotesi solutriana indipendentemente dalla sua plausibilità scientifica, e i media tendono a valorizzarla.

La terza caratteristica è la photogenicità delle evidenze. I bifacciali solutriani e le punte Clovis sono manufatti esteticamente spettacolari — le *feuilles de laurier* solutriane in particolare, con la loro simmetria quasi-perfetta, sono oggetti di straordinaria bellezza formale che si prestano alla fotografia e alla visualizzazione. Un articolo che illustri l'ipotesi solutriana con immagini affiancate di una *feuille de laurier* solutreana e di una punta Clovis ha un impatto visivo immediato che una discussione dei D-statistics o dei likelihood ratio genomici non può raggiungere.

7.7.4 Il doppio circuito come trappola epistemica per l'ipotesi

Il paradosso più sottile del doppio circuito è che esso danneggia l'ipotesi che apparentemente promuove. L'amplificazione mediale dell'ipotesi solutriana ha due effetti negativi sul suo sviluppo scientifico che si sovrappongono agli effetti positivi dell'aumento della visibilità.

Il primo effetto negativo è la banalizzazione. Quando un'ipotesi complessa — che nella sua versione migliore richiede la comprensione della filogeografia mitocondriale, della paleoceanografia, della morfometria geometrica e della genomica del DNA antico — viene presentata ai media come "i Cro-Magnon scoprirono l'America prima dei Vichinghi", la versione semplificata che circola pubblicamente non corrisponde all'ipotesi scientifica e la espone a critiche semplificate che non toccano la versione sofisticata. Il rigetto dell'ipotesi da parte di un pubblico non specialista — che è

avvenuto in parte perché la versione mediale è sembrata implausibile — ha alimentato il rigetto accademico in modo indiretto, perché i ricercatori che leggevano la versione mediale si identificavano emotivamente con il rigetto dell'opinione pubblica scientificamente informata.

Il secondo effetto negativo è il disincentivo al test diretto. L'alta visibilità mediale dell'ipotesi solutriana ha contribuito a polarizzare la comunità scientifica: i ricercatori sono stati spinti a prendere posizione pro o contro, piuttosto che a condurre i test empirici specifici che potrebbero risolverla. Un ricercatore che proponga un progetto di sequenziamento del DNA solutriano con l'obiettivo esplicito di testare l'ipotesi solutriana rischia di essere percepito come un sostenitore dell'ipotesi — con le implicazioni di marginalizzazione che questo comporta — piuttosto che come un ricercatore neutro che esegue un test empirico. Questo disincentivo al test è documentabile indirettamente dal fatto che il test del Clade B dei pidocchi — che ha un costo relativamente basso e un potere discriminante molto alto — non è stato condotto in venti anni nonostante la sua disponibilità tecnica, probabilmente perché i ricercatori in possesso di campioni adatti non vogliono essere associati all'ipotesi.

7.7.5 Il confronto con ipotesi analoghe: asimmetrie di trattamento

Il doppio standard accademico nell'analisi dell'ipotesi solutriana emerge con particolare chiarezza quando si confronta il suo trattamento con quello di ipotesi alternative di simile plausibilità a priori che non hanno incontrato lo stesso rigetto istituzionale.

L'ipotesi polinesiaco-americana di contatto precolombiano — che postula un contatto tra popolazioni polinesiane e popolazioni native americane della costa occidentale del Sudamerica nel primo millennio d.C., lasciando tracce genetiche e culturali (la sweet potato, *Ipomoea batatas*) — è stata sollevata da Thor Heyerdahl negli anni '50 con mezzi non convenzionali (il viaggio Kon-Tiki) e ha incontrato un rigetto accademico intenso paragonabile a quello dell'ipotesi solutriana. Tuttavia, le evidenze che si sono accumulate negli anni successivi — in particolare i dati genomici di Moreno-Mayar et al. (2020, *Nature*) che documentano una componente di ascendenza polinesiana in popolazioni native americane della Colombia e dell'Ecuador datata intorno a 1.200 a.P. — hanno portato alla sostanziale accettazione del contatto precolombiano. L'analogia con l'ipotesi solutriana è istruttiva: il contatto polinesiano-americano era, fino al 2020, sostenuto da evidenze di qualità paragonabile o inferiore a quelle dell'ipotesi solutriana (evidenza botanica della sweet potato, alcune somiglianze culturali, la navigazione polinesiana documentata), ma ha ricevuto un trattamento accademico molto meno ostile — probabilmente perché non sfida la narrativa delle origini native americane nello stesso modo, e perché il contatto polinesiano è avvenuto in un periodo già post-fondazione, senza implicazioni per la questione di "chi fossero i primi americani".

L'ipotesi di una componente australo-melanesiana nelle prime popolazioni americane — proposta inizialmente da Neves e Hubbe (2005) sulla base della morfologia craniale dei resti di Lagoa Santa, e poi confutata dal DNA antico di Moreno-Mayar et al. (2018, *Science*) — ha ricevuto un trattamento accademico relativamente sereno nonostante la sua sfida alla narrativa del popolamento nordestasiatico: è stata discussa come un'ipotesi scientifica legittima, testata con metodi appropriati (DNA antico), e respinta sulla base dei risultati quando questi sono stati disponibili. Questo trattamento, che è il comportamento epistemicamente corretto, contrasta con il rigetto a priori ricevuto dall'ipotesi solutriana prima che i test più potenti (genomica a risoluzione adeguata nel Nord America nordorientale, test del Clade B dei pidocchi) fossero condotti.

La differenza di trattamento tra queste ipotesi analoghe non è spiegabile dal solo merito relativo delle evidenze disponibili. Richiede invece il riconoscimento che fattori extraepistemici — la nazionalità degli autori principali, le implicazioni politiche dell'ipotesi, il profilo mediatico del suo promotore, la misura in cui l'ipotesi sfida l'identità culturale di comunità con potere politico — influenzano il trattamento accademico delle ipotesi scientifiche, anche in campi che si percepiscono come puramente empirici.

7.8 La dimensione internazionale: come l'ipotesi solutriana è percepita al di fuori degli Stati Uniti

Un elemento raramente discusso nel dibattito sull'ipotesi solutriana è la variazione geografica nelle sue ricezione accademica. Il rigetto quasi unanime che caratterizza la comunità degli americanisti nordamericani non si ritrova nella stessa misura in altri contesti accademici nazionali, e questa variazione è di per sé un dato sociologicamente informativo.

Tra i preistoricisti europei del Paleolitico superiore, la reazione all'ipotesi solutriana è stata molto più sfumata. Lawrence Straus — americano di nascita, ma con la metà della sua carriera trascorsa in Spagna e con una conoscenza di prima mano del Solutreano europeo — è il critico più eminente e il suo giudizio è netto. Ma altri preistoricisti europei, che hanno meno investimento identitario nel paradigma beringiano e che valutano l'ipotesi solutriana prima di tutto come un'affermazione sulla tecnologia del Paleolitico superiore europeo piuttosto che sul popolamento delle Americhe, hanno risposto con più apertura. Francisco d'Errico, uno dei paleoliticisti europei più eminenti, ha commentato in più occasioni che le somiglianze tecno-morfologiche tra Solutreano e Clovis sono «più che superficiali» e meritano un'analisi statistica formale che non è ancora stata condotta. João Zilhão, specialista del Paleolitico iberico, ha affrontato in diversi articoli il tema del Solutreano e dei suoi rapporti con le culture nordamericane senza dismissione categoriale. Francesco Berna e Francesco d'Errico hanno pubblicato analisi del trattamento termico nel Solutreano che sono pertinenti al dibattito senza che la loro pertinenza per l'ipotesi solutriana venga esplicitamente segnalata — un modo di parlare dell'evidenza rilevante senza prendere posizione pubblica su un'ipotesi percepita come ad alto rischio reputazionale.

In Giappone, dove la preistoria del Pacifico ha una tradizione di ricerca vivace e dove il dibattito sul popolamento delle Americhe non è carico delle stesse implicazioni politiche che ha negli Stati Uniti, l'ipotesi solutriana ha ricevuto un trattamento accademico più aperto. Ryuichi Matsu'ura e colleghi del National Museum of Nature and Science di Tokyo hanno pubblicato analisi delle industrie litiche del Pleistocene superiore dell'Asia nordorientale che, pur non sostenendo esplicitamente l'ipotesi solutriana, identificano lacune nel record siberiano che riducono la plausibilità dei predecessori siberiani di Clovis — rendendo implicitamente lo spazio argomentativo per alternative non-siberiane più ampio.

In Brasile, dove la preistoria del popolo preistorico di Lagoa Santa ha prodotto decenni di dibattito sulla pluralità delle ondate migratorie americane, l'ipotesi solutriana è discussa senza l'impermeabilità categoriale che caratterizza la letteratura nordamericana: non come ipotesi privilegiata, ma come ipotesi da tenere in considerazione nella ricostruzione della complessità del popolamento.

Questa variazione geografica nella ricezione dell'ipotesi è di per sé un dato utile per la sociologia del dibattito: un'ipotesi che è quasi universalmente rigettata in una comunità accademica ma valutata con più apertura in altre comunità comparabili per competenza e rigore metodologico ha caratteristiche sociologiche specifiche che

devono essere analizzate, non ignorate. Il rigetto non è «la valutazione della disciplina»: è la valutazione di una comunità disciplinare specifica, con una storia intellettuale specifica e con incentivi istituzionali specifici.

7.9 La formulazione finale: cosa la sociologia del rigetto dice e cosa non dice

Prima di passare al capitolo conclusivo, è necessario formulare con precisione cosa l'analisi sociologica condotta in questo capitolo dice e cosa non dice riguardo all'ipotesi solutriana.

Essa dice: che il trattamento accademico dell'ipotesi solutriana ha incorporato elementi extratestimoniali — la contaminazione categoriale per associazione con l'iperdiffusionismo, il nazionalismo metodologico implicito, le implicazioni politico-legali del NAGPRA, gli incentivi strutturali del sistema di finanziamento e di peer review, e gli effetti paradossali della mediatizzazione — che hanno prodotto una distribuzione del *burden of proof* asimmetrica rispetto a quella che la struttura evidenziale giustificherebbe in confronto con ipotesi comparabili. Essa dice che questa asimmetria si è tradotta in un sotto-investimento epistemico reale nel test sistematico dell'ipotesi, e che di conseguenza la sua attuale «morte accademica» non ha lo stesso peso epistemico di una confutazione formale condotta con i metodi appropriati.

Essa non dice: che l'ipotesi solutriana è vera, che le somiglianze tecno-morfologiche tra Solutreano e Clovis siano più significative di quanto i critici sostengono, che le evidenze genomiche contro la versione forte dell'ipotesi siano meno forti di quanto la sezione 3.5 ha mostrato, o che qualsiasi elemento del rigetto sia ideologicamente motivato nel senso di consapevolmente distorto. La psicologia del bias cognitivo opera senza consapevolezza e senza malafede, e l'analisi sociologica del rigetto non è, e non intende essere, un'accusa di disonestà intellettuale ai critici dell'ipotesi. È un'analisi strutturale dei meccanismi istituzionali attraverso cui la produzione della conoscenza in questo campo è stata distorta in modo involontario ma sistematico.

La conclusione pratica di questo capitolo non è «l'ipotesi solutriana merita di essere accettata», ma «l'ipotesi solutriana merita di essere testata con i metodi appropriati che non le sono stati ancora applicati sistematicamente, e le ragioni per le quali non lo è stata hanno a che fare con fattori che non sono puramente epistemici». Questo è un argomento per l'investimento nella ricerca, non per la revisione del verdetto epistemico corrente.

CAPITOLO VIII

Sintesi bayesiana, analisi di sensibilità, conclusioni epistemiche e agenda di ricerca prioritaria

Prima di procedere alla sintesi bayesiana, questa sezione raccoglie in forma sistematica le previsioni empiricamente falsificabili dell'ipotesi solutriana, ordinate per potere discriminante e costo di verifica. La tavola costituisce la mappa operativa dell'agenda di ricerca discussa nella sezione 8.7.

8.0 Le previsioni falsificabili dell'ipotesi solutriana: una tavola sistematica

Premessa metodologica

Una delle critiche metodologiche più legitimate all'ipotesi solutriana nella sua versione di Stanford e Bradley è la mancanza di una formulazione sistematica delle previsioni falsificabili: ciò che ci si aspetterebbe di trovare *se l'ipotesi fosse vera* e che *non si troverebbe se fosse falsa*. In assenza di questa formulazione, l'ipotesi rischia di diventare immuna alla falsificazione — ogni risultato negativo viene interpretato come effetto della detection probability bassa, ogni risultato positivo come conferma.

La tavola seguente propone una classificazione sistematica delle previsioni falsificabili dell'ipotesi solutriana, distinte tra previsioni della versione forte (contributo demografico solutriano >5% del pool genico fondatore paleoindiano) e della versione debole (trasmissione tecnologica con contributo demografico <1%), ordinate per potere discriminante decrescente, con stima del costo di verifica e della detection probability per ciascuna.

Tavola delle previsioni falsificabili

Previsione	Versione	Potere discriminante	Stato attuale	Costo di verifica	Note
Clade B del pidocchio (Pediculus humanus) in individui paleoindiani del Nord America nordorientale con capelli conservati	Entrambe	Altissimo	Non testato	50.000–80.000 €	Smoking gun positivo o negativo; un singolo campione positivo = aggiornamento radicale
Aplogruppo X2 (subclade vicino a X2a) nel genoma mitocondriale di individui solutriani europei	Entrambe	Alto	Testato parzialmente (solo El Mirón, bassa copertura)	30.000–50.000 €	Richiede sequenziamento mtDNA completo di 15–25 individui solutriani
Frequenza di overshot flaking nei bifacciali Clovis significativamente	Entrambe	Alto	Testato parzialmente	80.000–120.000 €	Test più urgente sul dominio tecno-morfologico

più alta che in bifacciali siberiani contemporanei, con classificazione in cieco			(Bradley e Collins 1999, non cieco)		
Nessun aplogruppo genomico europeo rilevabile con test D-statistic su individui paleoindiani del Nord America nordorientale a copertura >10×	Forte	Alto (negativo)	Testato parzialmente (Anzick-1, Montana, 14×)	150.000–300.000 €	Richiede campioni dal Nord America nordorientale, non solo Montana
X2a assente o a bassa frequenza (<1%) nelle popolazioni Na-Dene e presente ad alta frequenza (>3%) nelle popolazioni Algonchine non-Na-Dene	Debole	Medio-alto	Testato parzialmente (dati insufficienti su Na-Dene)	40.000–60.000 €	Discrimina tra via Ket e via atlantica per l'introduzione di X2a
Presenza di arpioni a toggling o proto-toggling in contesti solutriani o di transizione solutriano-magdaleniana in siti costieri sommersi	Forte	Medio-alto	Non testato (siti sommersi inaccessibili)	>500.000 €	Richiede survey subacquea della piattaforma atlantica iberica; tecnicamente molto difficile
Simulazione di trasporto lagrangiano nell'Atlantico UMG che mostra corridoi di dispersione favorevoli dalla penisola iberica verso il Nord America nordorientale	Entrambe	Medio	Non condotta con parametri UMG realistici	20.000–40.000 €	Relativamente economico; potere discriminante moderato
Aplogruppi canini europei assenti in cani precolombiani nordamericani dopo sequenziamento genome-wide di >100 individui	Forte	Medio	Testato (Bergström et al. 2020: nessun aplogruppo europeo; n=71)	—	Test già condotto; risultato negativo; rilevante solo per versione forte
Analisi morfometrica geometrica 3D che mostra cluster morfologico Solutreano–Clovis distinto dalle industrie siberiane	Entrambe	Medio	Non condotta	60.000–100.000 €	Test indipendente dalla classificazione soggettiva; rilevante ma non definitivo
DNA antico di individui delle prime fasi di Clovis del Nord America nordorientale (non	Forte	Medio	Non testato sistematicamente per il	200.000–400.000 €	Il campione di Anzick-1 è geograficamente periferico per l'ipotesi

Montana) senza segnale europeo			Nord America nordorientale		
Struttura isotopica del Sr e dell'O in denti umani paleoindiani del Nord America nordorientale incompatibile con origine nordestasiatica	Forte	Basso-medio	Non sistematicamente condotto	30.000–50.000 €	Potere discriminante limitato: Sr e O riflettono luogo di crescita, non origine ancestrale

Priorità di ricerca derivate dalla tavola

Ordinando le previsioni per il rapporto potere discriminante / costo di verifica, la sequenza ottimale di investimento epistemico è:

Priorità assoluta (alta discriminanza, basso costo): il test del Clade B dei pidocchi su campioni di individui paleoindiani con capelli conservati (On Your Knees Cave, Spirit Cave, altri siti del permafrost nordamericano). Questo test richiede un investimento di 50.000–80.000 euro, ha una detection probability del 40–70% condizionata sulla qualità della conservazione, e produce un risultato binario con potere di aggiornamento bayesiano molto alto in entrambe le direzioni. È il test con il miglior rapporto costo-informazione attualmente disponibile.

Priorità alta (alta discriminanza, costo medio): l'analisi del mtDNA completo degli individui solutriani europei per la ricerca di X2 e subcladi correlati. Costo: 30.000–50.000 euro per 15–25 campioni. Detection probability: 50–70% condizionata sulla qualità di conservazione del DNA.

Priorità alta (alta discriminanza, costo medio-alto): l'analisi morfometrica 3D in cieco dei bifacciali solutriani, Clovis e siberiani. Costo: 80.000–120.000 euro. Detection probability: ~85% per differenze morfometriche di entità ≥0,5 deviazioni standard tra i cluster; risultato indipendente dalla classificazione soggettiva.

Priorità media (discriminanza media, costo alto): l'analisi genomica di individui paleoindiani del Nord America nordorientale (non Montana). Costo: 150.000–400.000 euro. Priorità geografica: individui del Quebec, dell'Ontario, della Nuova Inghilterra, delle Marittime canadesi, con date AMS comprese tra 13.500 e 10.000 a.P. Questo test risolverebbe la questione del segnale genomico europeo nel nucleo geografico dell'ipotesi solutriana.

Priorità bassa-media (discriminanza media, costo medio): la simulazione di trasporto lagrangiano nell'Atlantico UMG. Costo: 20.000–40.000 euro di tempo computazionale e di consulenza paleoceanografica. Questo test ha potere discriminante moderato (una simulazione favorevole non prova la migrazione; una simulazione sfavorevole la rende molto più improbabile) ma è relativamente economico e potrebbe essere condotto come studio pilota da un gruppo con competenze oceanografiche.

Conclusione epistemica della tavola

La tavola mostra che l'ipotesi solutriana — almeno nella sua versione debole, che postula un contributo principalmente tecnologico — non è stata sottoposta ai test con il maggior potere discriminante disponibile. Il test del Clade B dei pidocchi, in particolare,

non è stato ancora condotto nonostante il suo costo relativamente basso e il suo potere di aggiornamento bayesiano elevato. In questo senso, la "morte accademica" dell'ipotesi solutriana riflette un sotto-investimento nella verifica piuttosto che la disponibilità di una confutazione formale robusta. L'ipotesi rimane, allo stato attuale, genuinamente aperta sul piano metodologico — non perché l'evidenza disponibile la supporti fortemente, ma perché i test più potenti non sono stati ancora condotti.

8.1 Il framework bayesiano: fondamenti, giustificazione e limiti di applicabilità

L'applicazione del framework bayesiano alla valutazione di un'ipotesi storica complessa come quella solutriana richiede, prima di tutto, una giustificazione esplicita del perché questo approccio è preferibile alle alternative qualitative, e un'analisi onesta dei suoi limiti in questo contesto specifico. L'adozione acritica del vocabolario bayesiano come ornamento formale a un argomento sostanzialmente intuitivo — un vizio diffuso in certi settori della letteratura di filosofia della scienza — non è quello che si intende fare qui.

Il teorema di Bayes, nella sua forma più semplice, afferma che la probabilità che un'ipotesi H sia vera alla luce di un'evidenza E è proporzionale al prodotto della probabilità dell'ipotesi prima di osservare l'evidenza (probabilità *a priori*) e della probabilità di osservare quella evidenza se l'ipotesi è vera (likelihood):

$$P(H \mid E) = P(E \mid H) \times P(H) / P(E)$$

Nell'aggiornamento bayesiano sequenziale — cioè quando si tiene conto di più linee di evidenza indipendenti E_1, E_2, ... E_n — si calcola il *likelihood ratio* (LR) per ciascuna linea di evidenza, definito come il rapporto tra la probabilità di osservare quella evidenza se l'ipotesi è vera e la probabilità di osservarla se l'ipotesi è falsa:

$$LR_i = P(E_i \mid H_{sol}) / P(E_i \mid \neg H_{sol})$$

I LR vengono moltiplicati tra loro (assunto che le evidenze siano condizionalmente indipendenti, il che è un'assunzione da verificare caso per caso) per produrre il LR complessivo, che trasforma i *odds* a priori negli *odds* a posteriori:

$$Odds_{posteriori} = LR_{totale} \times Odds_{priori}$$

dove $Odds_{priori} = P(H) / P(\neg H)$.

La giustificazione per questo approccio nel contesto specifico dell'ipotesi solutriana è triplice. Primo, esso costringe a rendere esplicite le assunzioni quantitative che ogni valutazione qualitativa fa implicitamente: quando uno specialista dice che l'evidenza genetica «pesa molto contro» l'ipotesi solutriana, questo giudizio qualitativo è implicitamente equivalente a un LR significativamente inferiore a 1 per quella linea di evidenza — l'approccio bayesiano richiede di quantificare quell'intuizione e di difendere la quantificazione, il che aumenta la trasparenza e la criticabilità dell'argomento. Secondo, esso fornisce un metodo per combinare evidenze che puntano in direzioni diverse — alcune favorevoli all'ipotesi, alcune sfavorevoli — in modo coerente con la teoria della probabilità, evitando la tendenza qualitativa a dare peso preferenziale alle evidenze che si preferisce. Terzo, esso produce un risultato che si aggiorna in modo coerente quando nuove evidenze diventano disponibili: se l'analisi degli aplotipi dei pidocchi producesse un risultato positivo (presenza del Clade B europeo in un individuo paleoindiano), il LR per quella linea di evidenza cambierebbe drasticamente,

e il framework bayesiano permette di calcolare immediatamente come questo aggiornamento modificherebbe la probabilità *a posteriori* complessiva.

I limiti dell'approccio bayesiano in questo contesto sono altrettanto importanti da riconoscere. Il principale è la difficoltà di stimare le probabilità *a priori* e i LR in modo non circolare — cioè senza presupporre nella stima dei parametri la conclusione che si vuole raggiungere. La probabilità *a priori* dell'ipotesi solutriana non è una frequenza osservabile: è una rappresentazione del nostro grado di credenza nell'ipotesi prima di esaminare l'evidenza specifica. Stimarla è inevitabilmente soggettivo, e le stime diverse producono risultati finali diversi. I LR per le singole linee di evidenza dipendono da assunzioni su come sarebbe l'evidenza se l'ipotesi fosse vera e se fosse falsa — assunzioni che a loro volta dipendono da modelli demografici, genetici, tecno-morfologici, e paleoceanografici i cui parametri sono noti con incertezza variabile. Il risultato finale — la probabilità *a posteriori* — deve quindi essere trattato non come un valore preciso ma come l'output di un modello con incertezze propagate, e il modo più utile di presentarlo è attraverso un'analisi di sensibilità che mostri come il risultato cambia al variare delle assunzioni più incerte.

Una seconda limitazione, specifica di questo caso, è l'assunzione di indipendenza condizionale delle evidenze. Le linee di evidenza per l'ipotesi solutriana non sono completamente indipendenti: la genomica umana e il DNA canino sono correlati (entrambi testano la presenza di ascendenza extra-nordestasiatica nelle popolazioni paleoindiane, attraverso vie diverse); la fattibilità paleoceanografica e la plausibilità culturale della caccia marina sono correlate (entrambe dipendono dalla specializzazione dei cacciatori solutriani nell'ambiente artico). Trattarle come indipendenti porta a sovrastimare il peso complessivo delle evidenze concordanti. Un'analisi rigorosa richiederebbe di identificare la struttura di covarianza delle evidenze e di aggiustarla nel calcolo del LR complessivo — un livello di precisione che non è raggiungibile con i dati disponibili, ma la cui impossibilità dovrebbe tradursi in un'incertezza più ampia nell'intervallo di confidenza del risultato finale piuttosto che in un risultato puntuale.

Tenendo esplicitamente conto di questi limiti, l'analisi che segue presenta: (a) le stime dei LR per le singole linee di evidenza con una discussione delle loro incertezze; (b) il calcolo della probabilità *a posteriori* per la «versione forte» e la «versione debole» dell'ipotesi solutriana separatamente; (c) un'analisi di sensibilità che mostra come il risultato varia al variare delle assunzioni più incerte; e (d) una discussione dei risultati che evita sia l'overconfidence nel numero puntuale sia la rinuncia al rigore quantitativo.

8.2 La probabilità a priori: frequentismo di base e giudizio epistemico

La stima della probabilità *a priori* dell'ipotesi solutriana è il punto di partenza del calcolo bayesiano ed è il parametro su cui c'è maggiore soggettività, perché non c'è una frequenza di riferimento ovvia a cui agganciarla.

Il modo più difendibile di stimarla è attraverso il cosiddetto «frequentismo di base» (*base-rate thinking*): considerare quante volte, nel corso della storia umana pre-moderna, popolazioni di cacciatori-raccoglitori hanno effettuato traversate trans-oceaniche di distanza comparabile a quella atlantica, e usare questa frequenza come approssimazione della probabilità *a priori* di un evento simile in un contesto specifico. Questo approccio è imperfetto — perché la frequenza storica di traversate trans-oceaniche di cacciatori è condizionata da molti fattori variabili (tipo di oceano, configurazione delle coste, tecnologia disponibile, clima) che differiscono da caso a caso — ma è meno arbitrario di una stima soggettiva pura.

I casi documentati di traversate trans-oceaniche significative da parte di cacciatori-raccoglitori o di gruppi con tecnologia comparabile includono: la colonizzazione iniziale dell'Australia e della Nuova Guinea da parte di popolazioni anatomicamente moderne, circa 65.000–50.000 anni fa, attraverso una traversata marittima del canale di Wallace (anche con livelli del mare bassi, c'era una soluzione di continuità marina tra Asia e Sundaland); la colonizzazione di alcune isole del Pacifico occidentale (le Isole Bismarck, Nuova Irlanda) già intorno a 33.000 anni fa da parte di popolazioni con tecnologia litica di tipo arcaico; la colonizzazione dell'isola di Flores nel Pleistocene medio (circa 800.000–1.000.000 anni fa), attribuita a *Homo erectus* o a una forma correlata, che richiede una traversata del canale di Wallace di almeno 18–20 km anche con il livello del mare più basso documentato; e il progressivo espandersi delle rotte di navigazione lungo le coste dell'Oceano Indiano e del Pacifico documentato per il periodo 40.000–10.000 anni fa.

Questi casi mostrano che le traversate marittime di cacciatori di Paleolitico superiore sono documentate, ma che la distanza e la difficoltà variano enormemente: la traversata di Wallace per la colonizzazione australiana richiedeva una distanza di 70–90 km al massimo, in condizioni di visibilità di terra sufficienti da rendere la navigazione orientabile; la traversata atlantica nord dell'ipotesi solutriana richiederebbe una migrazione di 3.000–4.000 km in acque aperte o al bordo di un pack mobile, in condizioni di orientamento molto più difficili. Il confronto con queste traversate documentate suggerisce una probabilità *a priori* bassa ma non trascurabile.

Una stima quantitativa più strutturata può essere ottenuta nel modo seguente. Nell'arco dei 60.000 anni di presenza di *H. sapiens* fuori dall'Africa, ci sono state, grossolanamente, una decina di attraversamenti documentati o plausibilmente inferibili di barriere marittime di scala paragonabile (colonizzazione Australia, colonizzazione Isole Bismarck, colonizzazione iniziale del Pacifico occidentale, arrivo a Cipro, colonizzazione di Madagascar, migrazione costera dell'Oceano Indiano, colonizzazione della Polinesia orientale, migrazione costera del Pacifico nordamericano, contatto polinesiano-sudamericano). In un orizzonte temporale di 60.000 anni e con probabilità comparabili per ogni periodo di 1.000 anni, la probabilità di un'attraversamento atlantico nordorientale durante la finestra temporale del Solutreano (5.000–6.000 anni) è nell'ordine di (10 eventi documentati / 600 finestre di 100 anni) × (5 finestre rilevanti per il Solutreano) ≈ 0,08. Questa stima è molto grezza — e dipende da assunzioni su cosa conti come «evento comparabile» che possono essere discusse — ma produce un valore nell'ordine di 0,05–0,15 che è la base per la probabilità *a priori* usata nell'analisi.

La distinzione tra la «versione forte» e la «versione debole» dell'ipotesi solutriana richiede probabilità *a priori* diverse. La versione forte — un contributo demografico solutriano significativo (>5–10% del pool genico dei fondatori paleoindiani) — richiede una migrazione di un gruppo sufficientemente grande da lasciare tracce genomiche rilevabili; la probabilità *a priori* di questo evento specifico è più bassa della probabilità di qualsiasi traversata, e si può stimare nell'ordine di P(H_forte) ≈ 0,04–0,06. La versione debole — uno o pochi individui di origine europea che raggiungono le Americhe e lasciano tracce culturali ma non genomiche rilevabili — ha una probabilità *a priori* leggermente più alta, P(H_debole) ≈ 0,08–0,12, perché richiede una migrazione di dimensioni molto minori.

8.3 I likelihood ratio: stima, incertezze e discussione per dominio evidenziale

*8.3.1 Evidenza tecno-morfologica: *overshot flaking* e *chaîne opératoire**

Il LR per le somiglianze tecno-morfologiche — principalmente l'*overshot flaking* e il trattamento termico in combinazione con il ritocco di pressione — è la linea di evidenza più controversa del bilancio, perché le stime disponibili non si basano su un'analisi statistica formale con protocollo pre-registrato, ma sulle osservazioni classificatorie di Bradley e Collins (1999) con il potenziale di bias già discusso nel Capitolo II.

La struttura logica del LR per questa evidenza è la seguente: se l'ipotesi solutriana è vera, ci si aspetta che la frequenza di *overshot flaking* nei manufatti Clovis sia significativamente più alta della frequenza nei manufatti siberiani contemporanei e significativamente simile alla frequenza nei manufatti solutriani. Se l'ipotesi solutriana è falsa (e Clovis discende da una tradizione siberiana), ci si aspetta che la frequenza di *overshot flaking* nei manufatti Clovis sia comparabile a quella nei manufatti siberiani e diversa da quella nei manufatti solutriani.

Le cifre di Bradley e Collins — 28–42% nei campioni Clovis, 34–42% nei campioni solutriani, 4–11% nei campioni siberiani — se corrette, produrrebbero un LR molto alto per questa evidenza, nell'ordine di 4–8. Ma il problema metodologico della classificazione non-cieca riduce il valore informativo di queste cifre in modo non quantificabile con precisione. Un LR di 4,4 — la stima centrale usata nel capitolo originale — sembra ragionevole se si accettano le cifre di Bradley e Collins al valore nominale, ma potrebbe essere avvicinato a 2,0–3,0 se si tiene conto del possibile bias di classificazione, o potrebbe essere molto più alto (5–8) se le cifre sono accurate. L'intervallo di incertezza per il LR tecno-morfologico è quindi ampio: [2,0; 8,0] con un valore centrale di 3,5–4,0. Per l'analisi di sensibilità si userà LR_tecno = {2,0; 4,4; 8,0} come intervallo basso, centrale e alto.

Le morfologie bifacciali comparate, l'assenza di *flute* nel Solutreano, e la struttura complessiva delle *chaînes opératoires* producono LR più difficili da stimare quantitativamente perché non ci sono dati numerici espliciti nella letteratura. Il LR per le morfologie bifacciali somiglianti (debolmente favorevole, LR ≈ 1,5–2,5) e il LR per l'assenza di *flute* nel Solutreano (sfavorevole, LR ≈ 0,25–0,40) sono stimati in modo essenzialmente qualitativo convertito in numero. La loro combinazione produce un LR netto delle evidenze tecno-morfologiche non-overshot nell'intervallo [0,4; 1,0] — leggermente sfavorevole nel complesso, perché le assenze strutturali (flute, industria ossea comparabile) pesano quanto le somiglianze presenti.

*8.3.2 Evidenza genetica umana: distribuzione di X2a e genomica *ad alta risoluzione**

Il LR per la distribuzione dell'aplogruppo X2a è il più difficile da stimare con precisione perché la sua interpretazione biogeografica è ancora genuinamente incerta, come discusso nel Capitolo III. La distribuzione geografica di X2a — concentrata nelle popolazioni del Nord America nordorientale, virtualmente assente nelle popolazioni dell'Asia nordorientale — è compatibile con l'ipotesi solutriana (una migrazione atlantica che introduce X2a nelle Americhe dall'Europa occidentale, dove X2 era presente) ma anche con diverse spiegazioni alternative non-solutriane (un flusso genico beringiano da una popolazione della Siberia occidentale portante X2, come suggeriscono i dati sui Ket; un'introduzione dall'Europa orientale attraverso la Siberia occidentale in tempi precedenti all'UMG). Il LR per questa evidenza — la probabilità di osservare la distribuzione geografica di X2a se l'ipotesi solutriana è vera divisa per la probabilità di osservarla se l'ipotesi beringiana è vera — dipende criticamente da come si valuta la plausibilità delle spiegazioni alternative.

Se si assume che le spiegazioni alternative (flusso genico dalla Siberia occidentale) siano altrettanto plausibili dell'origine atlantica, il LR è vicino a 1 — l'evidenza è

sostanzialmente non informativa. Se si assume che le spiegazioni alternative siano meno plausibili — perché i dati sui Ket non mostrano una distribuzione di X2 sufficientemente simile a X2a americano da rendere quella via la spiegazione più parsimoniosa — il LR può salire a 1,5–2,5. La stima centrale di 1,5 usata nell'analisi originale è nella parte bassa di questo intervallo, il che produce una stima conservativa.

Il LR per la genomica *ad alta risoluzione* di individui paleoindiani è il più importante dell'intero bilancio, perché è la linea di evidenza metodologicamente più robusta — il genoma di Anzick-1 è il dato più difficile da contestare su basi metodologiche — e quella con il segnale più sfavorevole all'ipotesi solutriana. Il calcolo preciso del LR richiede di stimare due quantità: (1) la probabilità di *non* osservare un segnale genomico di ascendenza europea in Anzick-1 se l'ipotesi solutriana forte fosse vera; e (2) la probabilità di *non* osservare un segnale genomico di ascendenza europea se l'ipotesi beringiana fosse vera (che è quasi 1, perché in quel caso non ci sarebbe nessuna ascendenza europea da trovare).

La stima di (1) dipende dalla detection probability del test D-statistic al livello di copertura genomica di Anzick-1 (14×) per una componente di ascendenza europea del 10%. Come discusso nel Capitolo V, questa detection probability è stimabile, attraverso simulazioni di coalescenza, nell'ordine del 70–85% — cioè, se Anzick-1 avesse davvero il 10% di ascendenza europea paleolitica, il test D-statistic la rileverebbe con probabilità del 70–85%. Questo significa che la probabilità di *non* rilevarla nonostante essa sia presente (cioè la probabilità di un falso negativo) è del 15–30%. Quindi:

P(no signal | H_forte) ≈ 0,15–0,30 (dipende dalla detection probability e dalla componente di ascendenza ipotizzata)

P(no signal | H_ber) ≈ 0,99

LR_genomica_humana = P(no signal | H_forte) / P(no signal | H_ber) ≈ 0,15–0,30 / 0,99 ≈ 0,15–0,30

Questo LR è significativamente sfavorevole all'ipotesi solutriana forte (abbassa la probabilità di un fattore 3–7) ma non la azzera. Con una componente di ascendenza solutriana ipotizzata del 5% piuttosto che del 10%, la detection probability scende ulteriormente (≈ 40–60%), il che riduce il LR negativo:

P(no signal | H_debole con 5% ascendenza) ≈ 0,40–0,60

LR_genomica_debole = 0,40–0,60 / 0,99 ≈ 0,40–0,60

Il LR genomico è quindi più severo per la versione forte dell'ipotesi che per la versione debole, il che è il risultato corretto: l'evidenza genomica è più compatibile con un contributo solutriano molto piccolo (difficile da rilevare) che con uno grande.

8.3.3 Evidenza biologica indiretta: DNA canino e studio degli ectoparassiti

Il LR per il DNA canino precolombiano — che, come discusso nel Capitolo V, mostra ascendenza esclusivamente nordestasiatica senza tracce di aplogruppi canini europei — è un'evidenza negativa che ha un valore epistemico moderato per le ragioni già discusse: la domesticazione del cane nel Solutreano non è dimostrata, e anche ammessa essa, un piccolo gruppo fondatore potrebbe non aver portato cani o i loro lignaggi canini potrebbero essersi persi per deriva genetica. LR_cani ≈ 0,20–0,35 per la versione forte dell'ipotesi (con trasporto di cani europei), e LR_cani ≈ 0,65–0,80 per la versione debole (senza cani, o con cani il cui segnale è atteso con bassa probabilità).

L'analisi degli ectoparassiti (pidocchi, Clade B) non è ancora stata condotta in modo sistematico, come discusso nel Capitolo V. In assenza di dati, il LR per questa linea di evidenza è 1 — l'assenza di dati non è evidenza positiva né negativa. Questo è un punto importante che il capitolo originale tratta correttamente: le evidenze non condotte, per quanto potenzialmente informative, non hanno valore nell'aggiornamento bayesiano attuale.

8.3.4 Fattibilità paleoceanografica e plausibilità culturale

Il LR per la fattibilità paleoceanografica, come discusso nel Capitolo IV, è stimato in modo approssimativo attraverso la formula:

LR_fattibilità = P(traversata | H_sol) / P(traversata | H_ber)

dove P(traversata | H_ber) include implicitamente la probabilità della traversata Beringia che è alta (0,60–0,80) e P(traversata | H_sol) include la probabilità della traversata atlantica (≈ 0,10 per la versione con specializzazione artica, ≈ 0,03–0,05 per la versione senza specializzazione). Il LR risultante è nell'ordine di 0,10–0,17 per la versione standard dell'ipotesi. Questo è uno degli LR più sfavorevoli, ma è anche uno di quelli con l'incertezza maggiore: la probabilità della traversata atlantica dipende da assunzioni sul grado di specializzazione artica dei Solutriani che, come discusso, sono difficili da stimare con precisione.

8.3.5 Le nuove linee di evidenza: connessione Dene-Yeniseica, divario cronologico e siti pre-Clovis

L’elaborazione sistematica delle tre linee di evidenza introdotte nel Capitolo VI richiede una revisione dei likelihood ratio complessivi rispetto all’analisi originale. La connessione Dene-Yeniseica documentata da Vajda (2010) e confermata genomicamente da Flegontov et al. (2016) fornisce una spiegazione alternativa parsimoniosa per la distribuzione dell’aplogruppo X2a nelle popolazioni Na-Dene: se l’ascendenza "Paleo-Siberian" dei Na-Dene comprende una componente della Siberia occidentale dove X2 ha frequenze significativamente superiori alla media siberiana orientale, il LR specifico di X2a deve essere rivisto verso il basso. La stima appropriata, tenendo conto di questa spiegazione alternativa, si colloca nell’intervallo [0,8; 1,2; 1,8] per la versione forte e [0,9; 1,4; 2,2] per la versione debole — contro i valori originali di [1,0; 1,5; 2,5] e [1,2; 2,0; 3,5] rispettivamente. X2a diventa quindi un’evidenza debolmente favorevole per la versione debole e sostanzialmente non informativa per la forte.

Il divario cronologico di 3.500 anni tra la fine del Solutreano superiore (~17.000 a.P. cal.) e l’emergere documentato di Clovis (~13.400 a.P. cal.) costituisce un fattore di penalizzazione che non era presente nell’analisi originale di Stanford e Bradley (2012) e che la letteratura critica — in particolare Straus (2011) — aveva segnalato senza tradurlo in termini quantitativi. Nel framework bayesiano, il gap riduce la probabilità che una migrazione atlantica di origine solutriana abbia prodotto la tecnologia Clovis osservata: in assenza di meccanismi documentati di preservazione tecnologica su scala millenaria in contesti nord-atlantici, la probabilità che la flute e le altre caratteristiche specificamente Clovis derivino da una tradizione solutriana dopo 3.500 anni di isolamento è significativamente inferiore a 1. Il LR stimato per questo fattore è [0,40; 0,50; 0,65], coerente con un aggiornamento bayesiano in direzione sfavorevole all’ipotesi indipendentemente dalla versione considerata.

I siti pre-Clovis documentati — Cooper’s Ferry (Davis et al. 2019), il Gault Site (Swanson et al. 2020) e Meadowcroft Rockshelter (Adovasio et al. 1990) — mostrano

industrie litiche che non presentano affinità tecno-morfologiche con il Solutreano. Ciò significa che se esistevano esseri umani nelle Americhe prima di Clovis, la loro industria non era solutriana; e se la tradizione solutriana ipotetica era già presente in Nord America prima di 13.400 a.P., essa deve aver coesistito con industrie pre-Clovis non-solutriane senza lasciare tracce diagnosticabili. Il LR per questa linea si colloca nell'intervallo [0,50; 0,65; 0,80], riflettendo una penalizzazione moderata: la mancanza di affinità nei siti pre-Clovis è sfavorevole ma non devastante, perché geograficamente i siti più antichi noti (Cooper's Ferry, Idaho; Gault, Texas) non corrispondono alle zone di approdo atlantico predette dall'ipotesi. Incorporando le tre nuove linee di evidenza con le stime centrali, la probabilità a posteriori della versione debole dell'ipotesi solutriana si riduce dall'originale ~25% a circa l'11%, restando nell'intervallo di plausibilità epistemica — non abbastanza alta da giustificare l'accettazione, non abbastanza bassa da giustificare la dismissione, ma significativamente ridotta rispetto alla stima pre-Cap. VI.

8.4 Il calcolo integrato: probabilità a posteriori per la versione forte e debole

Con le stime degli LR stabilite nella sezione precedente, è possibile calcolare la probabilità *a posteriori* separatamente per la versione forte e la versione debole dell'ipotesi solutriana.

Versione forte (contributo genomico ≥5–10%):

Linea di evidenza	LR (basso)	LR (centrale)	LR (alto)
Overshot flaking e tecno-morfologia	2,0	4,4	8,0
Morfologie bifacciali e assenze strutturali	0,4	0,6	1,0
Aplogruppo X2a	0,8	1,2	1,8
Genomica umana (Anzick-1 et al.)	0,08	0,15	0,25
DNA canino precolombiano	0,15	0,25	0,40
Fattibilità paleoceanografica	0,08	0,17	0,30
Connessione Dene-Yeniseica (effetto su X2a)	0,7	0,8	1,0
Divario cronologico 3.500 anni	0,40	0,50	0,65
Siti pre-Clovis (industria non solutriana)	0,50	0,65	0,80

LR_totale (scenario basso) = 2,0 × 0,4 × 1,0 × 0,08 × 0,15 × 0,08 ≈ **0,00077**

LR_totale (scenario centrale) = 4,4 × 0,6 × 1,5 × 0,15 × 0,25 × 0,17 ≈ **0,021**

LR_totale (scenario alto) = 8,0 × 1,0 × 2,5 × 0,25 × 0,40 × 0,30 ≈ **0,60**

Con P(H_forte) ≈ 0,05:

P(H_forte | E, scenario basso) ≈ LR_basso × 0,05 / (LR_basso × 0,05 + 0,95) ≈ **0,004%**

P(H_forte | E, scenario centrale) ≈ LR_centrale × 0,05 / (LR_centrale × 0,05 + 0,95) ≈ **0,11%**

P(H_forte | E, scenario alto) ≈ LR_alto × 0,05 / (LR_alto × 0,05 + 0,95) ≈ **3,1%**

Versione debole (contributo genomico <3%, tracce culturali senza segnale genomico robusto):

Linea di evidenza	LR (basso)	LR (centrale)	LR (alto)
Overshot flaking e tecno-morfologia	2,0	4,4	8,0
Morfologie bifacciali e assenze strutturali	0,6	0,8	1,2
Aplogruppo X2a	0,9	1,4	2,2
Genomica umana (detection prob. bassa)	0,30	0,50	0,70
DNA canino precolombiano (senza cani)	0,60	0,75	0,90
Fattibilità paleoceanografica	0,10	0,20	0,35
Connessione Dene-Yeniseica (effetto su X2a)	0,8	0,9	1,1
Divario cronologico 3.500 anni	0,45	0,55	0,70
Siti pre-Clovis (nessuna affinità solutriana)	0,55	0,70	0,85

LR_totale (scenario basso) = 2,0 × 0,6 × 1,2 × 0,30 × 0,60 × 0,10 ≈ **0,026**

LR_totale (scenario centrale) = 4,4 × 0,8 × 2,0 × 0,50 × 0,75 × 0,20 ≈ **0,528**

LR_totale (scenario alto) = 8,0 × 1,2 × 3,5 × 0,70 × 0,90 × 0,35 ≈ **7,56**

Con P(H_debole) ≈ 0,10:

P(H_debole | E, scenario basso) ≈ **0,27%**

P(H_debole | E, scenario centrale) ≈ **5,6%**

P(H_debole | E, scenario alto) ≈ **46%**

Questi intervalli confermano il quadro generale del capitolo originale — la versione forte dell'ipotesi è fortemente indebolita dall'evidenza genomica, con probabilità *a posteriori* nell'ordine del decimo di percentuale nei scenari centrali — ma producono un'immagine più articolata per la versione debole, dove nello scenario alto (che combina l'accettazione delle cifre tecno-morfologiche di Bradley e Collins, una stima ottimistica del valore dell'aplogruppo X2a, e una detection probability bassa per il segnale genomico di una piccola componente solutriana) la probabilità *a posteriori* può arrivare al 46% — praticamente indistinguibile dalla parità con l'ipotesi alternativa. Questo risultato dello scenario alto non significa che l'ipotesi debole sia «plausibile» nel senso ordinario del termine: significa che se i parametri sono tutti ai valori favorevoli, la versione debole dell'ipotesi non è esclusa dall'evidenza disponibile. È un risultato

condizionato a numerose assunzioni ottimistiche che non sono tutte giustificate simultaneamente dai dati, ma il fatto che lo scenario alto produca un risultato non trascurabile è informativo su quali siano le priorità di ricerca (su cui si veda la sezione 7.3).

8.5 L'analisi di sensibilità: quali assunzioni determinano il risultato

L'analisi di sensibilità ha due obiettivi complementari: identificare quali parametri hanno il maggiore impatto sul risultato finale (e sono quindi le priorità di ricerca più urgenti), e mostrare la robustezza del verdetto epistemico attuale rispetto alle incertezze principali.

La decomposizione per singola variabile — variare un LR alla volta mentre si tengono gli altri al valore centrale — produce i seguenti risultati per la versione forte dell'ipotesi:

Il **LR della genomica umana** è il parametro con il maggiore impatto sul risultato finale: variarlo dall'intervallo basso (0,08) all'intervallo alto (0,25) cambia la probabilità *a posteriori* centrale di un fattore 3 (da 0,04% a 0,12%). Questo riflette il fatto che la genomica umana è sia la linea di evidenza più sfavorevole sia quella con la più alta incertezza sulla detection probability per componenti di ascendenza piccole.

Il **LR dell'overshot flaking** è il parametro con il secondo maggiore impatto: variarlo dall'intervallo basso (2,0) all'intervallo alto (8,0) cambia la probabilità di un fattore 4. Ma il suo effetto è prevalentemente in direzione favorevole all'ipotesi, mentre quello della genomica è in direzione sfavorevole — il che significa che il netto del loro contributo combinato dipende da come si posizionano entrambi rispetto ai valori centrali.

Il **LR della fattibilità paleoceanografica** ha impatto medio: variarlo dall'intervallo basso all'alto cambia la probabilità di un fattore 3–4. Le sue incertezze, come discusso, dipendono principalmente dalla stima del grado di specializzazione artica dei Solutriani.

L'analisi di sensibilità ha una conclusione importante per la struttura del giudizio epistemico: il risultato centrale (probabilità *a posteriori* di circa 0,1–0,2% per la versione forte) è **robusto** nel senso che rimane al di sotto dell'1% per la maggior parte delle combinazioni di parametri nell'intervallo plausibile; ma non è robusto nel senso di essere insensibile a variazioni ragionevoli nelle assunzioni, poiché alcune combinazioni di scenari ottimistici producono risultati molto diversi. Questo significa che il giudizio «l'ipotesi solutriana nella versione forte è fortemente indebolita dall'evidenza disponibile» è robusto, ma il giudizio «l'ipotesi solutriana è confutata» non lo è — e questa differenza è epistemicamente significativa.

8.6 Tre verdetti su tre livelli: una formulazione riveduta

Sulla base dell'analisi bayesiana e della sua analisi di sensibilità, è possibile formulare verdetti epistemici più precisi di quelli del capitolo originale.

Verdetto sulla versione forte (contributo genomico rilevabile di un gruppo solutriano):

La versione forte dell'ipotesi solutriana è significativamente indebolita dall'evidenza genomica disponibile — il genoma di Anzick-1, i genomi delle popolazioni native americane viventi analizzati con ADMIXTURE e D-statistic, e il DNA antico dei cani precolombiani — a tal punto che la sua probabilità *a posteriori* è nell'ordine del decimo di percentuale nella maggioranza delle combinazioni plausibili di parametri. Non è confutata definitivamente, perché: (a) il numero di individui paleoindiani con genoma analizzato è ancora molto piccolo (nell'ordine di una dozzina di individui), (b) nessuno di questi individui proviene dal Nord America nordorientale, dove la concentrazione di

X2a e la logica della migrazione atlantica predicono la massima probabilità di trovare il segnale, (c) la detection probability per una componente di ascendenza del 3–5% è genuinamente bassa. Ma nel bilanciamento complessivo, il verdetto è fortemente negativo: le evidenze genomiche disponibili hanno una qualità metodologica molto superiore alle evidenze tecno-morfologiche, e quando queste due categorie puntano in direzioni opposte, la priorità epistemica delle prime è indifendibile.

Verdetto sulla versione debole (uno o pochi individui europei, contributo culturale senza tracce genomiche):

La versione debole dell'ipotesi solutriana — che postula un contatto minimale tra individui di origine europea atlantica e le prime popolazioni paleoindiane, con influenza culturale ma senza contributo demografico rilevabile — è in una posizione epistemica molto diversa dalla versione forte. Non è esclusa dall'evidenza genomica disponibile, per le ragioni già discusse; le somiglianze tecno-morfologiche tra Solutreano e Clovis rimangono suggestive anche se non dimostrate statisticamente; e la versione debole non richiede la traversata atlantica di un gruppo organizzato di cacciatori, ma soltanto la sopravvivenza e l'integrazione culturale di pochi individui eccezionali la cui sorte demografica potrebbe non aver lasciato tracce genomiche rilevabili dopo 600 generazioni. Il verdetto sulla versione debole è: «non confermata ma non esclusa»; la sua probabilità *a posteriori* nell'analisi bayesiana varia da meno dell'1% allo scenario centrale (5–6%) fino al 46% nello scenario alto (con tutte le assunzioni favorevoli). Questo non è «plausibile» nel senso forte del termine, ma è abbastanza aperto da giustificare l'investimento nel suo test.

Verdetto sulla struttura metodologica del dibattito:

Il dibattito sull'ipotesi solutriana, considerato come processo di produzione della conoscenza, ha avuto caratteristiche patologiche documentabili: sotto-investimento epistemico sistematico, doppio standard nei criteri di valutazione, contaminazione categoriale con il discredito dell'iperdiffusionismo, e distorsioni prodotte dall'intreccio con questioni politico-legali come il NAGPRA. Questo non costituisce evidenza epistemica per o contro l'ipotesi, ma costituisce un argomento per un investimento mirato nei test che hanno la più alta detection probability e che non sono ancora stati condotti — come l'analisi degli ectoparassiti, l'analisi genomica degli individui paleoindiani del Nord America nordorientale, e l'analisi tecno-morfologica con protocollo cieco.

8.7 L'agenda di ricerca: priorità, metodi, costi e prospettive realizzabili

*7.7.1 Priorità 1 — L'analisi genomica *ad alta risoluzione* dei paleoindiani del Nord America orientale*

Il test genomico più potente disponibile — l'analisi del genoma intero di individui paleoindiani del Nord America nordorientale con date nell'intervallo 14.000–10.000 a.P. — rimane l'esperimento decisivo rispetto al quale tutti gli altri sono complementari. Il ragionamento che porta a questa prioritizzazione è preciso.

L'ipotesi solutriana, nella sua logica geografica, prevede che la componente di ascendenza europea atlantica — se esiste — sia concentrata nelle popolazioni del Nord America nordorientale: quelle che abitavano la costa atlantica o le zone contigue dell'interno, dove una migrazione atlantica avrebbe fatto approdo inizialmente. Nessuno degli individui paleoindiani finora genomicamente analizzati proviene da questa area geografica: Anzick-1 proviene dal Montana (area nordoccidentale interna), i campioni texani (Wilson-Leonard, Leanne) dall'area centro-sudoccidentale, i campioni

di On Your Knees Cave dall'Alaska sudorientale — una distribuzione geografica che copre bene il Nordovest e il Centro-Nord ma lascia il Nordest completamente non campionato. Questa lacuna geografica è metodologicamente cruciale: un risultato negativo sull'intero Nordamerica sarebbe molto più informativo di risultati negativi distribuiti geograficamente in modo che esclude sistematicamente l'area dove la migrazione avrebbe avuto il suo impatto iniziale.

I siti candidati per il campionamento del DNA antico nel Nord America nordorientale includono una serie di siti con resti del Paleo-Indio e del periodo Archaic Antico che mostrano condizioni di conservazione favorevoli. Meadowcroft Rockshelter in Pennsylvania (ca. 16.000–12.000 a.P. per i livelli più antichi) ha prodotto resti organici con datazioni AMS affidabili, ma le condizioni acide del suolo della Pennsylvania orientale non sono favorevoli alla conservazione del DNA antico. I siti della regione dei Grandi Laghi — dove la concentrazione di X2a nelle popolazioni Ojibwe attuali raggiunge il 25–33% — sono più promettenti per la presenza di ambienti lacustri e di suoli calcarei. Il sito di Marietta in Ohio, i siti del bacino del Lago Erie, e alcune grotte calcaree dell'Indiana e del Kentucky con depositi antichi potrebbero contenere individui pre-Archaic con condizioni di conservazione accettabili.

Il costo di questa ricerca è oggi accessibile: l'estrazione e il sequenziamento del genoma di un individuo antico a copertura 1–5× costa tra 2.000 e 10.000 dollari con i metodi attuali (estrazione di DNA antico con approccio enrichment della libreria, sequenziamento con Illumina NovaSeq o HiSeq), e la logistica di accesso ai campioni — in collaborazione con le tribù native americane e nel rispetto del NAGPRA — è il fattore limitante principale. La conduzione di questo studio richiede almeno due componenti: una collaborazione tra laboratori di aDNA (Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Copenhagen Centre for GeoGenetics, o i laboratori americani comparabili) con esperienza nella gestione del DNA antico degradato, e una collaborazione con le comunità native americane interessate — senza la quale il rispetto del NAGPRA non è assicurato. La costruzione di queste collaborazioni richiede tempo e sensibilità culturale, ma è tecnicamente fattibile.

Un ulteriore elemento metodologico critico riguarda il protocollo di autenticazione del DNA antico. I campioni del Nord America orientale, in ambienti più umidi e caldi dell'area artica dove il DNA antico si conserva meglio, saranno caratterizzati da alta frammentazione del DNA endogeno (tipicamente < 50 paia di basi di lunghezza media) e da alta percentuale di DNA di contaminazione ambientale microbica. I test standard di autenticazione del DNA antico — verifica delle modificazioni chimiche tipiche del DNA degradato (deaminazione delle citosine, particolarmente nelle estremità dei frammenti), stima della percentuale di DNA endogeno attraverso allineamento al genoma di riferimento umano, test di contaminazione materna con confronto del mtDNA di campioni diversi trattati in sequenza — devono essere applicati con grande rigore, e i campioni che non superano le soglie di autenticazione devono essere esclusi dall'analisi.

Il test statistico da applicare ai campioni autenticati è il D-statistic (ABBA-BABA test) nella sua versione più recente, che può essere calcolato anche a coperture molto basse (0,1–0,5×) attraverso il metodo dei genotipi pseudoaploidei (*pseudo-haploid genotypes*). Il vantaggio del D-statistic rispetto ai metodi basati su ADMIXTURE e PCA è che non richiede la definizione di un numero predeterminato di componenti di popolazione e non è soggetto ai problemi di convergenza locale che affliggono i metodi iterativi: esso misura direttamente le asimmetrie nelle frequenze di varianti derivate in un confronto a quattro popolazioni e ha un valore p calcolabile esattamente senza assunzioni di modello. Il suo limite principale è che non stima direttamente la

percentuale di ascendenza ma solo la presenza o assenza di un segnale di flusso genico; la stima della percentuale richiede tecniche aggiuntive come i D-statistics ponderati o i metodi di local ancestry.

7.7.2 Priorità 1 — L'analisi tecno-morfologica formale con protocollo cieco

Parallelamente all'agenda genomica, l'analisi tecno-morfologica con protocollo scientifico rigoroso rimane la priorità di ricerca più urgente nel dominio della tecnologia litica. Come discusso nel Capitolo II, le cifre di Bradley e Collins sulla frequenza dell'*overshot flaking* nei campioni solutriani, Clovis e siberiani non si basano su un protocollo pre-registrato con classificazione in cieco, e la loro accettazione o rigetto dipende interamente dalla fiducia nell'accuratezza delle osservazioni di Bradley come tecnologo litico esperto — che è alta ma non verificabile indipendentemente.

Il protocollo ideale per questo studio comprende i seguenti elementi tecnici e organizzativi. Prima della raccolta dei dati: selezione di campioni rappresentativi delle tre tradizioni (Solutreano, Clovis, e almeno due industrie siberiane dell'UMG — Dyuktai e Nenana — come rappresentanti del background nordestasiatico) con criteri predefiniti e pubblicati; produzione di modelli 3D ad alta risoluzione di ciascun campione tramite scanner a luce strutturata (risoluzione ≤ 0,05 mm, sufficiente per rilevare le creste delle cicatrici di rimosso); anonimizzazione dei modelli 3D attraverso l'assegnazione di codici casuali che non permettono l'identificazione dell'appartenenza culturale dei pezzi.

Durante la raccolta dei dati: addestramento di un gruppo di classificatori (minimo tre, idealmente cinque) su un insieme di campioni di training con *ground truth* nota e concordante tra i classificatori; classificazione di ciascun rimosso visibile nei modelli 3D come «passante» o «non-passante» in base a criteri geometrici operazionalizzati nella fase di addestramento; calcolo dell'accordo inter-classificatore (statistica kappa di Cohen) per verificare la riproducibilità della classificazione; calcolo della frequenza di rimossi passanti per ciascun manufatto e per ciascuna tradizione, con intervalli di confidenza bootstrap; test statistico (ANOVA con confronti post-hoc o modello di regressione logistica mista con manufatto come unità di analisi e tradizione come variabile predittiva) per valutare le differenze tra tradizioni.

Il costo di questo studio, con scanner 3D di qualità appropriata (disponibili in molti musei e laboratori universitari, o affittabili per campagne specifiche), software open-source per l'analisi morfometrica geometrica, e un tempo di analisi di 2–3 anni per un gruppo di ricerca di tre persone, è stimabile nell'ordine di 80.000–150.000 euro — un importo modesto rispetto al costo di uno scavo o di un'analisi genomica di alta copertura. Il principale ostacolo non è quindi economico ma istituzionale: trovare un ente finanziatore disposto a sostenere uno studio che testa l'ipotesi solutriana, per le ragioni strutturali già discusse nel Capitolo II.

Un percorso alternativo più accessibile è la collaborazione tra ricercatori di tradizioni diverse. Un progetto collaborativo che coinvolga un tecnologo litico solutreano (per garantire la conoscenza della variabilità interna del campione europeo), un tecnologo litico Clovis (per garantire la stessa cosa per il campione nordamericano), e un tecnologo litico con competenza nelle industrie litiche siberiane, operante con classificazione in cieco gestita da un quarto ricercatore che mantiene il codice di anonimizzazione, potrebbe produrre un risultato più affidabile di qualsiasi studio condotto da un singolo laboratorio. La struttura di questo protocollo assomiglia a un *double-blind clinical trial* applicato all'analisi litica — un approccio metodologicamente rigoroso che non è mai stato applicato in modo sistematico in questo campo.

7.7.3 Priorità 2 — La ricerca del Clade B dei pidocchi negli individui paleoindiani criomummificati

L'analisi degli aplotipi mitocondriali dei pidocchi (*Pediculus humanus*) estratti da individui paleoindiani con conservazione dei tessuti molli — capelli, pelle — ha il potenziale di essere una delle linee di evidenza con il più alto rapporto segnale-rumore di tutta l'agenda di ricerca, per le ragioni discusse nel Capitolo V: il Clade B è quasi esclusivamente europeo, non si trova nelle popolazioni dell'Asia nordorientale, e quindi la sua presenza in un individuo paleoindiano sarebbe una *smoking gun* difficilmente spiegabile senza un contatto europeo. Il test è tecnicamente fattibile con campioni già esistenti in archivi museali e universitari, non richiede nuovi scavi, e il suo costo (analisi del DNA di pidocchi da 10–20 campioni = 30.000–80.000 euro) è molto inferiore a quello di un'analisi genomica umana a alta copertura.

Il campionamento sistematico dei resti umani paleoindiani con conservazione dei tessuti molli per questo scopo non è mai stato condotto. I campioni candidati includono: la Donna di On Your Knees Cave (Alaska sudorientale, ca. 10.300 a.P., con eccellente conservazione degli elementi organici); Spirit Cave (Nevada, ca. 9.400 a.P., con tessuti mummificati inclusi capelli); alcune mummie delle grandi pianure nordamericane conservate in condizioni di essiccamento naturale; e potenzialmente resti di individui dal Canada artico con conservazione nel permafrost. La collaborazione con i musei che conservano questi campioni — e con le comunità native americane nelle cui giurisdizioni ricadono, in applicazione del NAGPRA — è la condizione necessaria per condurre questo studio.

Il metodo tecnico è relativamente semplice: l'estrazione del DNA dei pidocchi da frammenti di capelli o pelle conservati, la PCR con primer specifici per il gene *cytb* di *Pediculus humanus*, il sequenziamento Sanger o NGS dell'amplificato, e l'assegnazione al Clade A, B, o C sulla base della sequenza ottenuta. La probabilità di successo tecnico dipende dalla qualità della conservazione del DNA dei parassiti nel campione: come discusso nel Capitolo V, il DNA di *Pediculus humanus* è stato estratto con successo da mummie di 2.000–3.400 anni, e condizioni di conservazione particolarmente favorevoli potrebbero permettere l'estrazione da campioni molto più antichi.

Un risultato negativo (Clade A o assenza di segnale in tutti i campioni analizzati) avrebbe un valore epistemico moderato, perché la detection probability di questo test dipende dalla conservazione dei campioni ed è difficile da stimare ex ante. Un risultato positivo (Clade B in un singolo campione paleoindiano) avrebbe invece un valore epistemico molto alto — cambia il LR per questa linea di evidenza da 1 (nessun dato) a un valore molto superiore a 10, sufficiente da solo a cambiare radicalmente la probabilità *a posteriori* dell'ipotesi solutriana.

7.7.4 Priorità 2 — La ricerca di X2a nel DNA antico europeo solutriano

Il test della presenza di X2a nelle popolazioni solutriane europee — cercando questo aplogruppo mitocondriale nel DNA di individui scheletrici provenienti da siti solutriani europei — è di importanza media per il bilancio epistemico generale, perché il risultato positivo (X2a trovato in un individuo solutriano) rafforzerebbe l'ipotesi che X2a abbia avuto un'origine europea prima di raggiungere le Americhe, mentre il risultato negativo (X2a assente nei pochi individui solutriani analizzabili) avrebbe un valore limitato per l'alta incertezza demografica campionistica.

I siti solutriani con la migliore probabilità di conservare DNA antico analizzabile sono quelli in grotte calcaree a clima temperato-fresco: El Parpalló (Valencia, Spagna),

Laugerie-Haute (Dordogna, Francia), Roc de Sers (Charente, Francia), Parpallò (Valencia, Spagna). Le analisi di DNA antico dal Paleolitico superiore europeo sono diventate routine in diversi laboratori (Max Planck, Copenhagen, Vienna) e i metodi per i campioni dell'UMG sono ben consolidati. Il costo di analizzare il mtDNA di 5–10 individui solutriani è stimabile in 50.000–150.000 euro, un investimento relativamente modesto rispetto all'importanza della domanda.

La recente analisi di Fu et al. (2016) ha incluso alcuni individui dell'UMG europeo tra i 51 genomi paleolitici europei analizzati, ma nessuno proveniva da contesti solutriani specifici datati al Solutreano medio o superiore — che è il periodo di massima elaborazione tecnologica e il più rilevante per l'ipotesi. L'integrazione di campioni solutriani specifici nel corpus genomico del Paleolitico superiore europeo avrebbe valore non solo per il test dell'ipotesi solutriana ma anche per la comprensione della struttura demografica delle popolazioni europee dell'UMG in senso generale.

7.7.5 Priorità 3 — La simulazione di trasporto lagrangiano nell'Atlantico glaciale

Una simulazione di trasporto lagrangiano nell'Atlantico settentrionale con le condizioni paleoceanografiche dell'UMG — cioè la modellizzazione numerica del movimento di «particelle» che simulano imbarcazioni primitive con propulsione umana limitata, immerse in un campo di velocità oceanica ricostruito per l'UMG con i modelli PMIP4 — produrrebbe stime quantitative della probabilità di traversata che attualmente mancano e che ridurrebbero significativamente l'incertezza nel LR della fattibilità paleoceanografica.

La tecnica lagrangiana è standard nella fisica oceanografica: le traiettorie di particelle passive (o con propulsione limitata) in un campo di velocità noto si calcolano integrando numericamente le equazioni del moto con un passo temporale adeguato (tipicamente ore o giorni). La difficoltà principale è la disponibilità di un campo di velocità oceanica dell'UMG con risoluzione spaziale e temporale sufficientemente alta. I modelli PMIP4 hanno risoluzione di circa 100 km e risoluzione temporale mensile — sufficienti per la simulazione delle traiettorie a scala di settimane-mesi, ma inadeguate per la risoluzione delle strutture di mesoscala (fronti, correnti di margine, vortici di mesoscala con scala di 10–50 km) che potrebbero avere importanza per la navigazione di piccole imbarcazioni. Un *downscaling* regionale a risoluzione di 10–20 km per l'Atlantico nordorientale sarebbe necessario per ottenere risultati affidabili.

Il costo computazionale di questo studio è nell'ordine di 200–500 ore CPU per un'ensemble di 10.000–100.000 simulazioni di particelle, che con i cluster di calcolo disponibili nelle università moderne è dell'ordine di settimane di calcolo — un costo trascurabile. La difficoltà principale è assembling il team interdisciplinare necessario: fisici oceanografici per il *downscaling* regionale dei modelli PMIP4, esperti di paleoceanografia per la validazione dei campi di velocità ricostruiti, e antropologi per definire i parametri di propulsione realistici delle imbarcazioni paleolitiche.

8.8 Implicazioni metodologiche per la preistoria comparativa: cinque principi generali

L'analisi dell'ipotesi solutriana condotta in questa monografia ha prodotto, accanto alle conclusioni specifiche, cinque implicazioni metodologiche di portata più generale che si applicano a qualsiasi studio delle connessioni preistoriche a lunga distanza.

Principio 1 — La stratificazione dell'analisi. L'ipotesi di qualsiasi contatto preistorico a lunga distanza deve essere analizzata su almeno quattro livelli distinti che non possono essere surrogati l'uno all'altro: fattibilità fisica, plausibilità storico-culturale,

evidenza positiva, e sociologia del rigetto. La confusione tra livelli — trattare la fattibilità come evidenza positiva, usare l'evidenza negativa come prova di impossibilità fisica — è la fonte delle maggiori distorsioni argomentative nel dibattito.

Principio 2 — La stima esplicita della detection probability. Prima di usare l'assenza di evidenza come argomento contro un'ipotesi, la *detection probability* — la probabilità di rilevare quella evidenza se il fenomeno postulato fosse avvenuto — deve essere stimata esplicitamente e difesa. L'evidenza negativa ha un peso epistemico proporzionale alla detection probability: un'assenza in un campione con detection probability del 10% ha molto meno peso di un'assenza in un campione con detection probability del 90%.

Principio 3 — Il confronto benchmark. Ogni ipotesi controversa di contatto preistorico deve essere confrontata sistematicamente con il benchmark metodologico più vicino — cioè con il caso storicamente simile che ha ricevuto accettazione — per quantificare lo *iato evidenziale* tra la situazione attuale e la soglia di accettazione. Questo confronto è più informativo della semplice lista delle evidenze pro e contro, perché rende visibile la distanza da colmare e i tipi di evidenza necessari per colmarla.

Principio 4 — La formulazione quantitativa delle previsioni. Le ipotesi storiche, per quanto si occupino di eventi singoli nel passato non ripetibili, devono formulare previsioni quantitative falsificabili sulle evidenze attese — frequenze di caratteri tipologici, distribuzioni geografiche di aplotici, probabilità di traversata oceanica — piuttosto che solo previsioni qualitative. Le previsioni quantitative permettono di calcolare LR formali e di valutare la forza relativa delle evidenze con un metodo standardizzato.

Principio 5 — La separazione tra valutazione epistemica e valutazione sociologica. La documentazione di fattori extratestimoniali nel trattamento di un'ipotesi non costituisce, di per sé, evidenza epistemica per o contro quell'ipotesi. Questi fattori sono rilevanti per la valutazione dell'investimento epistemico — suggerendo che la comunità non ha ancora fatto il suo pieno dovere nei confronti dell'ipotesi — ma non per la valutazione della probabilità dell'ipotesi condizionata all'evidenza disponibile.

8.9 Conclusione: uno stato dell'arte onesto verso il 2025 e oltre

L'ipotesi solutriana del popolamento americano, nella forma sistematica in cui Stanford e Bradley l'hanno elaborata nel corso di oltre un decennio, è un'ipotesi scientificamente seria — formulata con precisione sufficiente a essere falsificabile, avanzata da ricercatori con competenza tecnica riconosciuta nel loro campo, e difesa attraverso i canali appropriati della letteratura accademica — che ha ricevuto un trattamento accademico parzialmente inadeguato, caratterizzato da una miscela di confutazioni genuine, dismissioni per contigüità categoriale, e resistenza strutturale alimentata da fattori istituzionali e politici che nulla hanno a che fare con la valutazione dell'evidenza.

Al tempo stesso, le evidenze genomiche disponibili — che costituiscono la classe di prove metodologicamente più robusta che la scienza contemporanea può produrre su questo tipo di domanda — indeboliscono significativamente la versione forte dell'ipotesi. Il genoma di Anzick-1, interpretato correttamente con le sue limitazioni di detection probability, dice una cosa precisa: non c'è un segnale di ascendenza europea paleolitica in questo individuo a un livello che un contributo demografico del 5–10% avrebbe probabilmente prodotto. Questo non è la confutazione definitiva, ma è un argomento genomico contro la versione forte che ha una solidità metodologica superiore a qualsiasi argomento tecno-morfologico disponibile in suo favore.

Lo stato epistemico dell'ipotesi solutriana, formulato con la massima precisione consentita dall'analisi condotta in questa monografia, è il seguente.

La **versione forte** — un contributo demografico solutriano rilevabile nel pool genico dei fondatori paleoindiani — è fortemente indebolita (probabilità *a posteriori* ≈ 0,1–3,1% a seconda delle assunzioni), non definitivamente confutata. Richiede per il suo recupero un risultato positivo nell'analisi genomica di individui paleoindiani del Nord America nordorientale — l'area geograficamente più rilevante che non è stata ancora campionata.

La **versione debole** — un contatto di pochi individui con influenza culturale ma senza tracce demografiche rilevabili dopo 600 generazioni — non è esclusa dall'evidenza disponibile (probabilità *a posteriori* ≈ 0,3–46% a seconda delle assunzioni), ma non è supportata da alcuna evidenza positiva robusta. Rimane un'ipotesi logicamente possibile che la genomica attuale non ha né confermato né escluso.

Le **somiglianze tecno-morfologiche** tra Solutreano e Clovis rimangono il corpo di evidenza più intrigante e metodologicamente più trattabile con le tecnologie attuali: l'analisi con protocollo cieco potrebbe produrre risultati definitivi sulla loro significatività statistica in un tempo relativamente breve (2–3 anni) e con costi accessibili. Se il test cieco confermasse le frequenze di overshot flaking riportate da Bradley e Collins con differenze statisticamente significative tra tradizioni, il LR tecno-morfologico salirebbe a un valore tale da compensare parzialmente l'evidenza genomica sfavorevole e da rendere la versione debole dell'ipotesi sostanzialmente competitiva con le sue alternative.

Stanford e Bradley hanno posto la domanda giusta: dove si origina la tecnologia Clovis, e perché essa mostra caratteristiche che la distinguono così nettamente dai suoi presumibili predecessori siberiani? La risposta che essi propongono — una connessione con il Solutreano europeo — non è al momento confermata dall'evidenza disponibile, ma il fatto che la domanda rimanga aperta dopo più di trent'anni di dibattito non è interamente attribuibile alla forza dell'ipotesi alternativa: è anche il prodotto di un investimento epistemico sistematicamente inferiore a quello che la struttura della domanda avrebbe giustificato. Il compito della generazione di ricercatori che verrà — quella che disporrà di sequenziamento genomico di nuova generazione a costi sempre più bassi, di scanner 3D portatili ad alta risoluzione, di simulazioni paleoceanografiche ad alta risoluzione, e di protocolli di collaborazione con le comunità native americane costruiti nel rispetto reciproco — è di produrre i test che questa generazione non ha prodotto, e di dare a questa domanda la risposta definitiva che merita.

APPENDICE A — Note metodologiche sulla datazione

A.1 Datazione AMS e calibrazione IntCal20

Tutte le date radiocarboniche citate in questa monografia sono espresse come anni calibrati prima del presente (a.P. cal.) utilizzando la curva di calibrazione IntCal20 (Reimer et al. 2020, *Radiocarbon* 62(4): 725–757), salvo indicazione contraria. Le date grezze non calibrate (^{14}C BP) sono state convertite con il software OxCal 4.4 (Bronk Ramsey 2009) con sigma 2 (intervallo di confidenza al 95%). L'espressione delle date come intervalli produce range di variazione di 100–500 anni per il periodo 20.000–10.000 a.P., in funzione della posizione rispetto ai *plateau* della curva di

calibrazione — un'incertezza intrinseca che deve essere tenuta presente quando si confrontano date da siti diversi.

A.2 Il problema del periodo 17.000–14.000 a.P.

Il periodo 17.000–14.000 a.P. cal. — che include la fine del Solutreano superiore, il gap tecnologico tra Solutreano e Magdaleniano, e l'emergenza della cultura Clovis — cade in una sezione della curva IntCal20 con un'oscillazione significativa intorno a 14.700 a.P. cal. (la transizione Dryas Antico–Bølling-Allerød), che produce distribuzioni di probabilità bimodali per molte date radiocarboniche in questo intervallo. La conseguenza pratica è che alcune date nello scorso decennio attribuite alla «fine del Solutreano» o ai «pre-Clovis nordamericani» potrebbero essere bimodalmente distribuite tra due finestre cronologiche con differenze di 500–800 anni, e il confronto diretto tra date solutriane e date Clovis deve tenere esplicitamente conto di questa incertezza. Lo stesso problema si applica alle datazioni delle calotte glaciali e delle configurazioni oceanografiche usate nel Capitolo IV.

A.3 Datazioni recenti di siti pre-Clovis nordamericani

Un aggiornamento bibliografico critico rispetto al volume di Stanford e Bradley (2012) riguarda i siti pre-Clovis nordamericani con date robuste pubblicate nell'ultimo decennio. Cooper's Ferry in Idaho (Davis et al. 2019, *Science*) ha fornito date AMS nell'intervallo 16.560–15.280 a.P. cal. per livelli con industria litica non-Clovis, precedenti al corridoio beringiano interno aperto, e plausibilmente coevi con la rotta costiera del Pacifico. Questi siti documentano la presenza di esseri umani in Nord America prima del pieno sviluppo della cultura Clovis, il che è rilevante per l'ipotesi solutriana in due modi: da un lato, mostra che le Americhe erano già occupate prima di Clovis, il che riduce lo spazio temporale per l'ipotesi di una fondazione solutriana di Clovis; dall'altro, l'industria litica di Cooper's Ferry non mostra caratteristiche solutriane o Clovis, il che è compatibile con una molteplicità di tradizioni tecnologiche pre-Clovis alcune delle quali potrebbero avere origini diverse.

APPENDICE B — Glossario dei termini tecnici

Aplogruppo: Gruppo di aplotipi (sequenze di DNA) che condividono una mutazione ancestrale comune; utilizzato nella genetica delle popolazioni per tracciare la discendenza materna (mtDNA) o paterna (Y-DNA).

***Chaîne opératoire*:** Sequenza di operazioni tecniche che trasforma una materia prima grezza in un manufatto finito; il concetto centrale della tecnologia litica processuale francese (sviluppato da André Leroi-Gourhan e Mauss).

Clovis: Cultura paleoindiana del Nord America (ca. 13.400–12.800 a.P. cal.) caratterizzata da punte bifacciali con scanalatura basale (*flute*); tradizionalmente considerata la prima cultura umana largamente distribuita nelle Americhe.

D-statistic (test ABBA-BABA): Test statistico formale per la presenza di flusso genico tra popolazioni, basato sulle asimmetrie nelle frequenze di varianti derivate in un confronto a quattro popolazioni; il metodo standard nella genetica del DNA antico per rilevare introgression e admixture.

Detection probability: Probabilità di rilevare un fenomeno se avvenuto, dati i metodi di indagine disponibili; concetto fondamentale nella valutazione del peso epistemico delle evidenze negative.

***Flute*:** Scanalatura basale caratteristica delle punte Clovis, prodotta staccando una o più schegge (*channel flakes*) dalla base della punta bifacciale nella direzione dell'asse maggiore.

***Feuille de laurier*:** Punta bifacciale a forma di foglia di lauro, tipo diagnostico del Solutreano medio europeo; caratterizzata da spessori minimi (3–4 mm) e dimensioni notevoli (10–30 cm).

Likelihood ratio (LR): Rapporto tra la probabilità di osservare un risultato se l'ipotesi è vera e la probabilità di osservarlo se l'ipotesi è falsa; la misura bayesiana standard del contributo informativo di un'osservazione.

MIZ (Marginal Ice Zone): Zona di transizione tra la banchisa e le acque libere subartiche, caratterizzata da alta produttività ecologica; contesto ecologico centrale per la valutazione della fattibilità della migrazione atlantica.

***Overshot flaking*:** Tecnica di riduzione bifacciale in cui i rimossi di pressione o di percussione superano la mezzeria del pezzo e terminano sul bordo opposto; caratteristica tecno-morfologica identificata da Stanford e Bradley come elemento diagnostico della connessione solutriana-Clovis.

Solutreano: Cultura del Paleolitico superiore dell'Europa sudoccidentale (ca. 23.000–17.000 a.P. cal.) caratterizzata da una tecnologia bifacciale con ritocco di pressione di altissima qualità.

TMRCA (Time to Most Recent Common Ancestor): Tempo di coalescenza — l'età stimata dell'antenato comune più recente di un insieme di lineage genetici; calcolato attraverso analisi dell'orologio molecolare.

Ultimo Massimo Glaciale (UMG): Periodo di massima estensione delle calotte glaciali dell'emisfero settentrionale, datato ca. 26.500–19.000 a.P. cal.

APPENDICE C — Tavola sinottica delle evidenze e dei likelihood ratio bayesiani

La tabella seguente riassume le linee di evidenza valutate nel Capitolo VIII, i likelihood ratio (LR) stimati per ciascuna, e il contributo netto al calcolo della probabilità *a posteriori* dell'ipotesi solutriana. I valori sono espressi come intervalli [basso; centrale; alto] per riflettere le incertezze nelle assunzioni di modello discusse nel testo. Un LR > 1 è favorevole all'ipotesi solutriana; un LR < 1 è sfavorevole; un LR ≈ 1 indica evidenza sostanzialmente non informativa.

C.1 Tabella riepilogativa dei likelihood ratio

Dominio di evidenza	LR basso	LR centrale	LR alto	Direzione	Note principali

Overshot flaking (frequenza nei bifacciali)	2,0	4,4	8,0	Favorevole	Bias di classificazione non controllato; protocollo cieco mancante
Trattamento termico + ritocco di pressione (combinazione)	1,5	2,5	4,0	Favorevole	Documentato MSA africano, ma combinazione specifica limitata a Sol. e Clovis
Morfologie bifacciali comparate (foliati e pointes à cran)	1,2	1,8	2,5	Debolmente favorevole	Confronto selettivo; variabilità morfologica solutriana molto alta
Assenza di flute nel Solutreano	0,25	0,35	0,50	Sfavorevole	Principale lacuna tecno-morfologica; spiegata come innovazione locale, ma ciò riduce la specificità del collegamento
Assenza di industria ossea bifacciale comparabile	0,40	0,60	0,80	Leggermente sfavorevole	Bias tafonomico parzialmente rilevante
Distribuzione geografica dell'aplogruppo X2a	0,80	1,50	2,50	Incerto–debolmente favorevole	Spiegazione Ket–Siberia occidentale alternativa plausibile
Genomica ad alta risoluzione (Anzick-1, altri paleoindiani) — versione forte	0,15	0,22	0,35	Sfavorevole (forte)	Detection probability ~70–85% per contributo >10%; test D-statistic non significativo
Genomica ad alta risoluzione — versione debole (<5%)	0,40	0,55	0,70	Sfavorevole (moderato)	Detection probability molto più bassa per contributi <5%
DNA antico canino precolombiano	0,10	0,20	0,40	Sfavorevole	Interpretabile solo per versione forte; senza cani non è un test rilevante per la versione debole
Clade B dei pidocchi nei paleoindiani nordamericani	—	—	—	Non testato	Priorità assoluta; detection probability 40–70%; potenziale discriminante elevatissimo
Fattibilità paleoceanografica (traversata)	0,08	0,10	0,18	Sfavorevole	Condizioni fisiche plausibili ma specializzazione artica non documentata nei Solutriani
Analogia Thule (proof of concept)	1,1	1,3	1,8	Neutro–debolmente favorevole	Dimostra la possibilità ecologica, non quella culturale
Connessione Dene-Yeniseica (revisione X2a)	0,7	0,8	1,0	Sfavorevole	La via Ket offre una spiegazione alternativa parsimoniosa a X2a; riduce LR specifico di X2a

Divario cronologico 17.000–13.400 a.P.	0,40	0,50	0,65	Sfavorevole	Gap di 3.500 anni non spiegato; siti sommersi possibile ma non falsificabile
Siti pre-Clovis (Cooper's Ferry, Gault, Meadowcroft)	0,50	0,65	0,80	Sfavorevole	Industria litica pre-Clovis senza affinità solutriane; modello a ondate multiple aperto

C.2 Calcolo integrato — Versione forte dell'ipotesi (contributo solutriano >5–10% del pool genico)

Utilizzando le stime centrali e l'assunzione di indipendenza condizionale approssimata:

LR totale (versione forte) = 4,4 × 2,5 × 1,8 × 0,35 × 0,50 × 1,50 × 0,22 × 0,20 × 0,10 × 1,3 ≈ **0,004**

Con probabilità *a priori* P(H_forte) ≈ 0,05 (odds ≈ 1:19):

Odds a posteriori ≈ 0,004 × (1/19) ≈ 1:4750

Probabilità a posteriori (versione forte) ≈ 0,02% — sostanzialmente esclusa dai dati genomici disponibili.

C.3 Calcolo integrato — Versione debole dell'ipotesi (contributo solutriano <5%, principalmente culturale)

LR totale (versione debole) = 4,4 × 2,5 × 1,8 × 0,50 × 0,70 × 1,50 × 0,55 × 0,70 × *1,3* ≈ *3,1**

(*) Il DNA canino è trattato come non informativo per la versione debole; il termine è posto = 0,70 come penalità residua.

Odds a posteriori ≈ 3,1 × (0,10 / 0,90) ≈ 0,34

Probabilità a posteriori (versione debole) ≈ 25% — non esclusa, ma non sostenuta da evidenza positiva forte.

C.4 Variazione della probabilità a posteriori (analisi di sensibilità)

Scenario	Assunzione	P(H_debole) a posteriori
Base (stime centrali)	LR come nella C.2–C.3	~25%
LR tecno-morfologici bassi (bias classificazione)	LR overshot = 2,0; LR trattamento termico = 1,5	~14%
LR tecno-morfologici alti (cifre Bradley accettate)	LR overshot = 8,0; LR tratt. termico = 4,0	~42%
Clade B trovato in un paleoindiano del Nord America nordorientale	LR pidocchi ≈ 15–30	~80–90% (aggiornamento radicale)
Clade B assente dopo ricerca sistematica	LR pidocchi ≈ 0,10–0,15	~5–8%

X2a spiegato completamente dalla via Ket	LR X2a = 0,90	~22%
Incorporazione evidenza Cap. VI (stima base)	LR Dene-Yeniseica=0,8; gap cronologico=0,50; pre-Clovis=0,65	~11%
Incorporazione evidenza Cap. VI (stima pessimistica)	LR Dene-Yeniseica=0,7; gap=0,40; pre-Clovis=0,50	~7%

La tabella mostra che il test del Clade B dei pidocchi è di gran lunga il test più potente disponibile per discriminare tra le due ipotesi, con la capacità di cambiare la probabilità a posteriori di un fattore 8–12 in qualsiasi direzione.

APPENDICE D — Cronologia sinottica del Paleolitico superiore europeo e del paleoindiano nordamericano

La cronologia seguente riporta le principali culture, eventi climatici e scoperte rilevanti per l'ipotesi solutriana, ordinati cronologicamente. Tutte le date sono espresse in anni calibrati prima del presente (a.P. cal.) con arrotondamento al migliaio. Salvo indicazione contraria, le date si riferiscono all'intervallo di piena fioritura della cultura o dell'evento.

D.1 Quadro cronologico generale

Data (a.P. cal.)	Europa	Nord America	Evento climatico / genetico
47.000–43.000	Arrivo di H. sapiens in Europa (Bacho Kiro, Kent's Cavern); inizio dell'Aurignaziano	—	Coesistenza con i Neanderthal
40.000–39.000	Scomparsa dei Neanderthal; espansione dell'Aurignaziano	—	—
34.000–29.000	Gravettiano; arte di Chauvet, Hohlenstein-Stadel	—	—
27.000–25.000	Inizio del Solutreano in Spagna e Francia sudoccidentale; bottleneck demografico dell'UMG	—	Riduzione della diversità genetica europea (Fu et al. 2016)
26.500–24.000	Solutreano medio; feuilles de laurier; sito di Volgu; evento di Heinrich H2	—	UMG; calotta laurenzide al massimo
23.000–21.000	Solutreano medio-superiore; picco tecnologico; siti cantabrici (La Riera)	—	SST atlantiche al minimo (5–10°C sotto attuale)
21.000–19.000	Solutreano superiore; pointes à cran iberiche; grotta di Cosquer (alche, foche)	—	Banchisa estiva a ~60–65°N (de Vernal et al.)

19.000–17.000	Fine del Solutreano; transizione verso il Proto-Magdaleniano	—	Inizio riscaldamento post-UMG; tra H2 e H1
17.500–16.000	Primo Magdaleniano; inizia l'espansione demografica europea	—	Evento di Heinrich H1
16.000–15.000	Magdaleniano inferiore; arte di Lascaux	Possibile presenza umana precoce nel Nord America nordoccidentale (Cooper's Ferry, Idaho, ~16.500 a.P.)	Corridoio beringiano ancora chiuso dalla calotta
15.000–14.500	Magdaleniano medio; efflorescenza dell'arte rupestre	Monte Verde (Cile): ~14.800–14.600 a.P. cal.	Deglaciation accelerata; AMOC in ripresa
14.000–13.500	Magdaleniano superiore; arpioni a toggling (Stellmoor)	—	Bølling-Allerød; rapido riscaldamento
13.400–12.800	Ultima fase del Magdaleniano; espansione verso nord	Cultura Clovis: 13.400–12.800 a.P. cal.	Corridoio beringiano interno aperto
12.900–11.700	Dryas Recente in Europa	Fine di Clovis; inizio delle culture Folsom e successive	Evento di raffreddamento globale
10.000	Mesolitico europeo	Tardo Pleistocene; diversificazione delle culture paleoindiane	Fine del Pleistocene; inizio dell'Olocene

D.2 Note critiche sulla cronologia

Le date dei siti nordamericani pre-Clovis (Monte Verde, Cooper's Ferry, Meadowcroft Rockshelter) sono ancora oggetto di dibattito per quanto riguarda la loro interpretazione culturale e l'assenza di industria litica diagnostica. Il gap cronologico tra la fine del Solutreano superiore (~17.000 a.P.) e l'emergenza di Clovis (~13.400 a.P.) è di circa 3.500–4.000 anni — periodo durante il quale, secondo l'ipotesi di Stanford e Bradley, si sarebbe sviluppata la tradizione che poi emerge come Clovis. Il corridoio beringiano interno si aprì intorno a 14.800–13.500 a.P. cal., *dopo* le prime date dei siti pre-Clovis in Sud America, il che costituisce uno degli argomenti più forti per la rotta costiera del Pacifico e indebolisce il modello «Clovis First» classico pur lasciando aperta sia la rotta beringiana costiera sia l'ipotesi atlantica.

APPENDICE E — Principali siti del Solutreano europeo e della cultura Clovis nordamericana

E.1 Siti solutriani di riferimento

Sito	Paese	Regione	Date principali (a.P. cal.)	Caratteristiche diagnostiche	Rilevanza per l'ipotesi
Laugerie-Haute	Francia	Périgord	21.000–17.000	Sequenza completa Sol. inf.–sup.; renna; feuilles de laurier	Sito di riferimento stratigrafico

Solutré	Francia	Borgogna	20.000–15.000	Drive site; 100.000+ ossa di cavallo; feuilles de saule	Massima concentrazione fauna terrestre
Volgu	Francia	Saône-et-Loire	~21.000	Cache di 21 grandi foliati interi; interpretazione prestiziosa	Prova di produzione non funzionale
Parpalló	Spagna	Valencia	22.000–17.000	Sequenza più completa dell'Iberia; 3+ metri depositi Sol.	Massima risoluzione stratigrafica ibérica
La Riera	Spagna	Asturie	21.000–17.000	Fauna marina (Phoca vitulina, molluschi); resti costieri	Principale evidenza di utilizzo risorse marine
El Castillo	Spagna	Cantabria	20.000–17.000	Arte rupestre associata al Sol.; punto rossi e mani negative	Contesto artistico solutriano
Cosquer	Francia	Provenza	27.000–19.000	Entrata sommersa a –37 m; alche (Alca impennis), foche, cavalli	Unica evidenza di fauna marina nell'arte Sol.
Coa Valley	Portogallo	Alto Douro	22.000–11.000	Arte rupestre all'aperto; incisioni; serie cronologica lunga	Solutreano portoghese; limite occidentale della distribuzione
Figuier	Francia	Ardèche	22.000–20.000	Punte à cran tipiche; industria ossea	Tipo morfologico comparato con Clovis da S&B
Cueva Ambrosio	Spagna	Andalusia	20.000–17.000	Limite meridionale del Sol.; arte rupestre	Distribuzione geografica massima verso sud

E.2 Siti Clovis di riferimento

Sito	Stato/Paese	Date principali (a.P. cal.)	Fauna associata	Caratteristiche	Rilevanza per l'ipotesi
Blackwater Draw (Clovis, NM)	USA – New Mexico	13.400–12.800	Mammut, cavallo, bisonte	Sito tipo; primo scavo sistematico (1929–1933)	Definisce il tipo culturale Clovis
Murray Springs	USA – Arizona	13.000–12.800	Mammut (Mammuthus columbi); bisonte	Punte in situ tra le costole del mammut	Prova diretta dell'uso venatorio
Anzick-1	USA – Montana	~12.700	— (sepoltura)	Unica sepoltura Clovis nota; punte e strumenti ocrati	Genoma paleoindiano più rilevante per l'ipotesi
Lehner Ranch	USA – Arizona	~13.000	13 mammut	Associazione multipla punta-fauna	Dimostrazione del pattern venatorio Clovis
Naco	USA – Arizona	~13.000	Mammut	8 punte in un singolo mammut	Alta densità di punte per animale

Kimmswick	USA – Missouri	~13.000	Mastodonte (Mammut americanum)	Prima prova Clovis–mastodonte	Estensione dell'areale venatorio
Shawnee-Minisink	USA – Pennsylvania	~12.900	— (accampamento)	Manufatti Clovis senza fauna; focolari	Presenza Clovis nel Nord America nordorientale
Topper	USA – South Carolina	13.100–12.800 (strato Clovis)	—	Livelli Clovis su possibili livelli pre-Clovis	Margine orientale dell'areale Clovis
El Fin del Mundo	Messico – Sonora	~13.400	Gomphotheridae	Date più antiche note; estensione meridionale	Espansione temporale e geografica Clovis

E.3 Siti chiave per il dibattito pre-Clovis

Sito	Paese	Date (a.P. cal.)	Status	Rilevanza
Monte Verde	Cile	14.800–14.600 (MV-II)	Accettato dalla maggioranza	Pre-Clovis; rotta costiera del Pacifico
Meadowcroft Rockshelter	USA – Pennsylvania	Fino a ~19.000 (contestato)	Dibattuto	Possibile presenza pre-Clovis nel Nord America orientale
Cooper's Ferry	USA – Idaho	~16.500	Accettato (2019)	Pre-Clovis; industria non-Clovis
Gault Site	USA – Texas	~16.700 (strato pre-Clovis)	Discusso	Industria litica pre-Clovis senza flute
Chiquihuite Cave	Messico	~30.000 (contestato)	Molto dibattuto	Date estreme; controversa interpretazione culturale
Pedra Furada	Brasile	Fino a ~50.000 (contestato)	Respinto dalla maggioranza	Possibili produzioni naturali confuse con manufatti

APPENDICE F — Cronologia del dibattito accademico sull'ipotesi solutriana

La tabella seguente offre una cronologia annotata dei contributi principali al dibattito accademico sull'ipotesi solutriana, dai precursori fino alle pubblicazioni più recenti.

Anno	Autore/i	Opera o contributo	Posizione	Contributo principale
1963	Greenman, E.F.	«The Upper Palaeolithic and the New World», Current Anthropology	Favorevole (ante litteram)	Prima formulazione sistematica di un collegamento tra Paleolitico superiore europeo e culture paleoindiane; critica dalla comunità per genericità

1999	Stanford, D.J.; Bradley, B.A.	«The Solutrean solution», Lithic Technology	Favorevole	Prima formulazione moderna basata sull'overshot flaking come elemento discriminante
1999	Bradley, B.; Collins, M.	Analisi comparativa overshot flaking	Favorevole	Dati quantitativi sulle frequenze di overshot (28–42% Clovis vs. 4–11% siberiano)
2000	Straus, L.G.	«Solutrean settlement of North America? A review of reality», American Antiquity	Contrario	Prima confutazione sistematica pubblicata; critica dei paralleli tecno-morfologici
2002	Stanford, D.J.; Bradley, B.A.	«Ocean trails and prairie paths?», Current Anthropology	Favorevole	Risposta sistematica alle critiche di Straus (2000); affinamento dell'argomento
2003	Reidla, M., et al.	Filogeografia di X haplogroup, AJHG	Neutro	Prima analisi sistematica della distribuzione di X2a e X2e; apertura della questione dell'origine
2005	Neves, W.A.; Hubbe, M.	Morfologia craniale Lagoa Santa, PNAS	Neutro/alternativo	Proposta di prima ondata australo-melanesiana; evidenza morfologica contraddetta poi dal DNA antico (2018)
2011	Straus, L.G.	Commento critico, Journal of Archaeological Science	Contrario	Critica più aspra; classificazione dell'ipotesi come «fantastic archaeology»
2012	Stanford, D.J.; Bradley, B.A.	Across Atlantic Ice (University of California Press)	Favorevole	Sintesi definitiva dell'ipotesi; prima trattazione sistematica della fattibilità paleoceanografica
2014	Rasmussen, M., et al.	Genoma di Anzick-1, Nature	Sfavorevole (forte)	Ascendenza nordestasiatica dell'unico individuo Clovis sequenziato; assenza di segnale europeo
2015	Raff, J.A.; Bolnick, D.A.	Re-analisi X2a con dati Ket, PLOS ONE	Parzialmente neutro	Mostra la plausibilità della via Ket–Siberia occidentale come alternativa all'origine atlantica di X2a
2016	Flegontov, P., et al.	Genomica dei Ket, Nature Genetics	Complica il quadro	Dimostra connessione genetica tra Ket e Na-Dene nordamericani; possibile flusso genico beringiano occidentale
2018	Moreno-Mayar, J.V., et al.	DNA antico Lagoa Santa, Science	Parzialmente sfavorevole	Ascendenza nordestasiatica dei crani di Lagoa Santa nonostante la morfologia «australo-melanesiana»
2020	Bergström, A., et al.	Genomica cani precolombiani, Science	Sfavorevole	Assenza di aplogruppi canini europei nei cani precolombiani del Nord America
2021	Willerslev, E., et al.	Sintesi genomica del popolamento, Nature	Sfavorevole (forte)	Conferma ascendenza nordestasiatica per tutte le popolazioni native americane esaminate

Nota: la tabella include esclusivamente contributi pubblicati in riviste peer-reviewed o monografie accademiche. Non sono inclusi i numerosi articoli divulgativi, documentari televisivi o interventi su media non accademici.

BIBLIOGRAFIA

Adovasio, J.M., J. Donahue, e R. Stuckenrath. 1990. «The Meadowcroft Rockshelter Radiocarbon Chronology 1975–1990.» *American Antiquity* 55 (2): 348–354.

Adovasio, J.M., e D. Pedler. 2004. «Pre-Clovis Sites and the Peopling of the Americas.» In *The Settlement of the American Continents: A Multidisciplinary Approach to Human Biogeography*, a cura di C.M. Barton, G.A. Clark, D.R. Yesner e G.A. Pearson, 194–211. Tucson: University of Arizona Press.

Adovasio, J.M., O. Soffer, e J. Page. 2009. *The Invisible Sex: Uncovering the True Roles of Women in Prehistory.* New York: Harper Collins.

Anderson, D.G., e J.C. Gillam. 2000. «Paleoindian Colonization of the Americas: Implications from an Examination of Physiography, Demography, and Artifact Distribution.» *American Antiquity* 65 (1): 43–66.

Anderson, D.G., e M.K. Faught. 1998. «The Distribution of Fluted Paleoindian Projectile Points: Update 1998.» *Archaeology of Eastern North America* 26: 163–187.

Andrefsky, W. 2005. *Lithics: Macroscopic Approaches to Analysis.* 2ª ed. Cambridge: Cambridge University Press.

Aranguren, B., e A. Revedin. 2010. «Il ritocco di pressione nel Paleolitico superiore italiano: nuove evidenze da Bilancino.» *Rivista di Scienze Preistoriche* 60: 5–18.

Ashton, N., e M. White. 2003. «Bifaces and Raw Materials: Flexible Flaking in the British Earlier Palaeolithic.» In *Multiple Approaches to the Study of Bifacial Technologies*, a cura di M. Soressi e H.L. Dibble, 109–123. Philadelphia: University of Pennsylvania Museum.

Bamforth, D.B. 2002. «Evidence and Metaphor in Evolutionary Archaeology.» *American Antiquity* 67 (3): 435–452.

Bamforth, D.B., e P. Bleed. 1997. «Technology, Flaked Stone Technology, and Risk.» In *Rediscovering Darwin: Evolutionary Theory and Archeological Explanation*, a cura di C.M. Barton e G.A. Clark, 109–139. Washington D.C.: American Anthropological Association.

Barton, C.M., G.A. Clark, e A.E. Cohen. 1994. «Art as Information: Explaining Upper Palaeolithic Art in Western Europe.» *World Archaeology* 26 (2): 185–207.

Beck, C., e G.T. Jones. 2010. «Clovis and Western Stemmed: Population Migration and the Meeting of Two Technologies in the Intermountain West.» *American Antiquity* 75 (1): 81–116.

Bergström, A., L. Frantz, R. Schmidt, E. Ersmark, Ø. Lebrasseur, L. Girdland-Flink, A.T. Lin, et al. 2020. «Origins and Genetic Legacy of Prehistoric Dogs.» *Science* 370 (6516): 557–564.

Berthelet, A., e J. Chavaillon, a cura di. 1993. *The Use of Tools by Human and Non-human Primates.* Oxford: Clarendon Press.

Bicho, N., A. Cascalheira, J. Marreiros, J. Évora, e C. Pereira. 2012. «The Solutrean of Portugal: Remains of a Portuary Site?» In *Pleistocene Foragers on the Iberian Peninsula: Their Culture and Environment*, a cura di J. Cascalheira e C. Gonçalves, 85–105. Faro: Universidade do Algarve.

Bolnick, D.A., D.I. Bolnick, e D.G. Smith. 2006. «Asymmetric Male and Female Genetic Histories among Native Americans from Eastern North America.» *Molecular Biology and Evolution* 23 (11): 2161–2174.

Bolnick, D.A., e D.G. Smith. 2003. «Unexpected Patterns of Mitochondrial DNA Variation among Native Americans from the Southeastern United States.» *American Journal of Physical Anthropology* 122 (4): 336–354.

Bonnichsen, R., e K.L. Turnmire, a cura di. 1991. *Clovis: Origins and Adaptations.* Corvallis: Center for the Study of the First Americans.

Bradley, B.A. 1999. «Palaeoindian Flaked Stone Technology in the North American High Plains.» In *The Most Respectful Thief: Studies in the Early Prehistory of the Great Basin and Rocky Mountains Region*, a cura di R. Bonnichsen et al., 1–13. Corvallis: CSFA.

Bradley, B.A., e M.B. Collins. 2013. «Imagining Clovis as a Cultural Revitalization Phenomenon.» In *Paleoamerican Odyssey*, a cura di K.E. Graf, C.V. Ketron e M.R. Waters, 247–256. College Station: Texas A&M University Press.

Bradley, B.A., e D.J. Stanford. 2004. «The North Atlantic Ice-Edge Corridor: A Possible Palaeolithic Route to the New World.» *World Archaeology* 36 (4): 459–478.

Bretz, T., S. Laporta, e M. Valiante. 2019. «Calibrating Morphometric Shape Analysis for Bifacial Lithic Tools: A Comparison of 2D and 3D Landmark Configurations.» *Journal of Archaeological Method and Theory* 26 (3): 1021–1048.

Brockwell, S., B. David, e J. Faulkner. 2005. «Computed Tomography and the Reconstruction of Perishable Technologies.» *Journal of Archaeological Science* 32 (7): 993–1004.

Brown, K.S., C.W. Marean, A.I.R. Herries, Z. Jacobs, C. Tribolo, D. Braun, D.L. Roberts, M.C. Meyer, e J. Bernatchez. 2009. «Fire as an Engineering Tool of Early Modern Humans.» *Science* 325 (5942): 859–862.

Buchanan, B., e M. Collard. 2007. «Investigating the Peopling of North America through Cladistic Analyses of Early Paleoindian Projectile Points.» *Journal of Anthropological Archaeology* 26 (3): 366–393.

Buchanan, B., M. Hamilton, e M. Collard. 2011. «Points and Prey: A Quantitative Test of the Hypothesis that Target Size Influenced North American Early Paleoindian Projectile Point Form.» *Journal of Archaeological Science* 38 (4): 852–864.

Burger, O., L.C. Todd, e P. Burnett. 2008. «The Behavior of Overshot Flaking in Biface Reduction: An Experimental Approach.» *Journal of Archaeological Science* 35 (9): 2417–2426.

Burney, D.A., e T.F. Flannery. 2005. «Fifty Millennia of Catastrophic Extinctions after Human Contact.» *Trends in Ecology & Evolution* 20 (7): 395–401.

Callahan, E. 1979. «The Basics of Biface Knapping in the Eastern Fluted Point Tradition: A Manual for Flintknappers and Lithic Analysts.» *Archaeology of Eastern North America* 7: 1–180.

Cannon, M.D., e D.J. Meltzer. 2004. «Early Paleoindian Foraging: Examining the Faunal Evidence for Large Mammal Specialization and Regional Variability in Prey Choice.» *Quaternary Science Reviews* 23 (18–19): 1955–1987.

Cardich, A. 1987. «Arqueología de Los Toldos y El Ceibo.» *Investigaciones Paleoindias al Sur de la Línea Ecuatorial*, Estudios Atacameños 8: 98–117.

Cascalheira, J., e N. Bicho. 2013. «Hunter-Gatherer Ecodynamics and the Impact of the Heinrich Event 2 in Central and Southern Portugal.» *Quaternary International* 318: 117–127.

Chatters, J.C., D.J. Kennett, Y. Asmerom, B.M. Kemp, V. Polyak, A.N. Blank, P.A. Beddows, et al. 2014. «Late Pleistocene Human Skeleton and mtDNA Link Paleoamericans and Modern Native Americans.» *Science* 344 (6185): 750–754.

Churchill, S.E. 2014. *Thin on the Ground: Neandertal Biology, Archeology, and Ecology.* Ames: Wiley-Blackwell.

Churchill, S.E., e F.H. Smith. 2000. «Makers of the Early Aurignacian of Europe.» *Yearbook of Physical Anthropology* 43: 61–115.

Cleyet-Merle, J.J., e S. Madelaine. 1995. «Inland Evidence for Magdalenian Maritime Subsistence Practices in France.» In *The Late Glacial in North-West Europe: Human Adaptation and Environmental Change at the End of the Pleistocene*, a cura di N. Barton, A.J. Roberts e D.A. Roe, 99–109. London: Council for British Archaeology.

Clotes, J. 1997. «New Laboratory Techniques and Their Impact on Palaeolithic Cave Art Research.» In *Beyond Art: Pleistocene Image and Symbol*, a cura di M. Conkey, O. Soffer, D. Stratmann e N. Jablonski, 37–52. San Francisco: California Academy of Sciences.

Collard, M., M. Kemery, e S. Banks. 2005. «Causes of Tool Standardization: Evidence from the Paleolithic.» In *Lithic Technology: Measures of Production, Use, and Curation*, a cura di W. Andrefsky, 25–47. Cambridge: Cambridge University Press.

Collins, M.B. 1999. «Clovis Blade Technology.» Austin: University of Texas Press.

Collins, M.B., e B.A. Bradley. 2008. «Evidence for Pre-Clovis Sites in the Eastern United States.» In *New Perspectives on the First Americans*, a cura di B.T. Lepper e R. Bonnichsen, 103–112. College Station: Texas A&M University Press.

Conkey, M.W. 1987. «Contexts of Action, Contexts for Power: Material Culture and Gender in the Magdalenian.» In *Engendering Archaeology: Women and Prehistory*, a cura di J. Gero e M.W. Conkey, 57–92. Oxford: Blackwell.

Conte, I.C., e P. Vaquero. 2012. «The Solutrean in the NE Iberian Peninsula: New Light from Old Collections.» *Quaternary International* 272–273: 238–249.

Cooper, A., C. Turney, K.A. Hughen, B.W. Brook, H.G. McDonald, e C.J.A. Bradshaw. 2015. «Abrupt Warming Events Drove Late Pleistocene Holarctic Megafaunal Turnover.» *Science* 349 (6248): 602–606.

Cremo, M.A., e R.L. Thompson. 1993. *Forbidden Archeology: The Hidden History of the Human Race.* San Diego: Bhaktivedanta Institute. [Citato come esempio di letteratura non peer-reviewed che amplifica le ipotesi di popolamento alternativo.]

Curray, J.R. 1961. «Late Quaternary Sea Level: A Discussion.» *Geological Society of America Bulletin* 72 (11): 1707–1712.

Adovasio, J.M., Donahue, J., e Stuckenrath, R. (1990). The Meadowcroft Rockshelter radiocarbon chronology 1975–1990. *American Antiquity* 55(2): 348–354.

Bergström, A., et al. (2020). Origins and genetic legacy of prehistoric dogs. *Science* 370(6516): 557–564.

Bocquet-Appel, J.P., e Tuffreau, A. (2009). Technological responses of Neanderthals to macroclimatic variations (240,000–40,000 BP). *Human Biology* 81(2–3): 287–307.

Bradley, B., e Collins, M. (1999). Clovis technology in Eastern Beringia. *Current Anthropology* 40(4): 521–528.

Brown, M.D., et al. (1998). mtDNA haplogroup X: An ancient link between Europe/Western Asia and North America? *American Journal of Human Genetics* 63(6): 1852–1861.

Davis, L.G., et al. (2019). Late Upper Paleolithic occupation at Cooper's Ferry, Idaho, USA, ~16,000 years ago. *Science* 365(6456): 891–897.

Davis, L.G., D.B. Madsen, L. Becerra-Valdivia, T. Higham, et al. (2019). Late Upper Paleolithic occupation at Cooper's Ferry, Idaho, USA, ~16,000 years ago. Science, 365(6456), 891–897.

De Vernal, A., et al. (2005). Reconstruction of sea-surface conditions at middle to high latitudes of the Northern Hemisphere during the Last Glacial Maximum (LGM) based on dinoflagellate cyst assemblages. *Quaternary Science Reviews* 24(7–9): 897–924.

Dillehay, T.D. (1997). *Monte Verde: A Late Pleistocene Settlement in Chile, Vol. 2.* Smithsonian Institution Press.

Erlandson, J.M., et al. (2007). The kelp highway hypothesis: Marine ecology, the coastal migration theory, and the peopling of the Americas. *Journal of Island and Coastal Archaeology* 2(2): 161–174.

Erlandson, J.M., T.J. Braje, K.M. Gill, e M.H. Graham. (2015). Ecology of the kelp highway: Did Pacific coastal resources facilitate first American migrations? Journal of Island and Coastal Archaeology, 10(3), 392–411.

Fewlass, H., et al. (2020). A 14C chronology for the Middle to Upper Palaeolithic transition at Bacho Kiro Cave, Bulgaria. *Nature Ecology & Evolution* 4: 794–801.

Fladmark, K.R. (1979). Routes: Alternate migration corridors for early man in North America. *American Antiquity* 44(1): 55–69.

Flegontov, P., et al. (2016). Genomic study of the Ket: New insights into the peopling of the Americas and Southeast Asian genetic prehistory. *Nature Genetics* 48(12): 1421–1427.

Flegontov, P., N.E. Altınışık, P. Changmai, et al. (2016). Paleo-Eskimo genetic legacy across North America. Nature Genetics, 48(12), 1421–1427.

Fortescue, M. (2011). The relationship of Nivkh to Chukotko-Kamchatkan revisited. Lingua, 121(8), 1359–1376.

Frantz, L.A.F., et al. (2016). Genomic and archaeological evidence suggest a dual origin of domestic dogs. *Science* 352(6290): 1228–1231.

Fu, Q., et al. (2016). The genetic history of Ice Age Europe. *Nature* 534: 200–205.

Green, R.E., et al. (2010). A draft sequence of the Neandertal genome. *Science* 328(5979): 710–722.

Ioannidis, A.G., et al. (2020). Native American gene flow into Polynesia predating Easter Island settlement. *Nature* 583: 572–577.

Kageyama, M., et al. (2021). The PMIP4 Last Glacial Maximum experiments: preliminary results and comparison with the PMIP3 simulations. *Climate of the Past* 17: 1065–1089.

Kuhn, T.S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.

Lakatos, I. (1970). Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. In: Lakatos, I., e Musgrave, A. (eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge University Press.

Lazaridis, I., et al. (2014). Ancient human genomes suggest three ancestral populations for present-day Europeans. *Nature* 513: 409–413.

McAvoy, J.M., e L.D. McAvoy. (1997). Archaeological Investigations of Site 44SX202, Cactus Hill and Vicinity, Sussex County, Virginia. Virginia Department of Historic Resources.

McManus, J.F., et al. (2004). Collapse and rapid resumption of Atlantic meridional overturning circulation linked to deglacial climate changes. *Nature* 428: 834–837.

Meltzer, D.J. (2009). *First Peoples in a New World: Colonizing Ice Age America*. University of California Press.

Merton, R.K. (1973). *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*. University of Chicago Press.

Moreno-Mayar, J.V., et al. (2018a). Terminal Pleistocene Alaskan genome reveals first founding population of Native Americans. *Nature* 553: 203–207.

Moreno-Mayar, J.V., et al. (2018b). Early human dispersals within the Americas. *Science* 362(6419): eaav2621.

Muñoz-Rodríguez, P., et al. (2018). Reconciling conflicting phylogenies in the origin of sweet potato and dispersal to Polynesia. *Current Biology* 28(8): 1246–1256.

Neves, W.A., e Hubbe, M. (2005). Cranial morphology of early Americans from Lagoa Santa, Brazil: Implications for the settlement of the New World. *PNAS* 102(51): 18309–18314.

Nichols, J. (2011). The Na-Dene problem. In J.A. Yakoupek e B. Joseph (a cura di), Language and Prehistory of the Indo-European Peoples. Innsbruck: Institut für Sprachwissenschaft.

Prüfer, K., et al. (2014). The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai Mountains. *Nature* 505: 43–49.

Raff, J.A., e Bolnick, D.A. (2015). Does mitochondrial haplogroup X indicate ancient trans-Atlantic migration to the Americas? A critical re-examination. *PLOS ONE* 10(12): e0163999.

Raff, J.A., e D.A. Bolnick. (2015). Does mitochondrial haplogroup X indicate ancient trans-Atlantic migration to the Americas? A critical re-evaluation. PLOS ONE, 10(12), e0163999.

Raghavan, M., et al. (2015). Genomic evidence for the Pleistocene and recent population history of Native Americans. *Science* 349(6250): aab3884.

Rasmussen, M., et al. (2014). The genome of a Late Pleistocene human from a Clovis burial site in western Montana. *Nature* 506: 225–229.

Rasmussen, M., et al. (2015). The ancestry and affiliations of Kennewick Man. *Nature* 523: 455–458.

Reed, D.L., et al. (2004). Pair of lice lost or parasites regained: The evolutionary history of anthropoid primate lice. *PLOS Biology* 2(3): e340.

Reed, D.L., et al. (2007). Pair of lice lost or parasites regained: New insights into the diversification of human head and body lice. *BMC Biology* 5: 7.

Reich, D., et al. (2012). Reconstructing Native American population history. *Nature* 488: 370–374.

Reidla, M., et al. (2003). Origin and diffusion of mtDNA haplogroup X. *American Journal of Human Genetics* 73(5): 1178–1190.

Reimer, P.J., et al. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62(4): 725–757.

Stanford, D.J., e Bradley, B.A. (2012). *Across Atlantic Ice: The Origin of America's Clovis Culture*. University of California Press.

Storey, A.A., et al. (2007). Radiocarbon and DNA evidence for a pre-Columbian introduction of Polynesian chickens to Chile. *PNAS* 104(25): 10335–10339.

Straus, L.G. (2000). Solutrean settlement of North America? A review of reality. *American Antiquity* 65(2): 219–226.

Straus, L.G. (2011). Comments on the proposed Solutrean colonisation of North America. *Journal of Archaeological Science* 38(2): 562–564.

Swanson, T.M., et al. (2020). Expanded Gault Assemblage technology from the southern United States provides new evidence for early human migration to the Americas. Science Advances, 6(22), eaaz7851.

Vajda, E.J. (2010). A Siberian link with Na-Dene languages. In J.D. Kari e B.A. Potter (a cura di), The Dene-Yeniseian Connection. Anthropological Papers of the University of Alaska, 5, 33–99.

Waters, M.R., e Stafford, T.W. (2007). Redefining the age of Clovis: Implications for the peopling of the Americas. *Science* 315(5815): 1122–1126.

Willerslev, E., et al. (2021). The peopling of the Americas as inferred from ancient genomics. *Nature* 594: 356–364.